

MOACIR MARCOLIN

Polimorfismo e Tamanho da Amostra para Construção  
de Curvas de Índice de Sítio para *Pinus taeda L.*, no  
Segundo Planalto Paranaense

Dissertação submetida à consideração da  
Comissão Examinadora, como requisito par-  
cial na obtenção do Título de "Mestre em  
Ciências — M. Sc.", no Curso de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal do  
Setor de Ciências Agrárias da Universidade  
Federal do Paraná.

CURITIBA

1990

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato **MOACIR MARCOLIN**, sob o título **"POLIFORMISMO E TAMANHO DE AMOSTRA PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA Pinus taeda L. NO SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE"** para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais.

Observação:

O critério de aprovação da Dissertação e Defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas, **APROVADA ou NÃO APROVADA**.

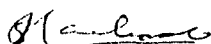
Curitiba, 16 de fevereiro de 1990



Prof.Dr. Hilton Iadeu Zarate do Couto  
Primeiro Examinador



Prof.Ph.D. Flavio Felipe Kirchner  
Segundo Examinador



Prof.Ph.D. Sebastião do Amaral Machado  
Presidente da Banca

A meus PAIS e IRMÃOS

D E D I C O

## AGRADECIMENTOS

Ao orientador Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado e aos co-orientadores, Professor Dr. Flávio Felipe Kirchner e Professor Dr. Roberto Tuyushi Hosokawa, pela orientação, estímulo, compreensão e amizade.

Aos Professores, Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ e Dr. John Paul McTague da Northern Arizona University-NAU, pelo estímulo e colaboração.

Ao Professor Dr. Carlos Bruno Reissmann coordenador do projeto: "Classificação de sítio para **Araucaria angustifolia**, **Pinus elliottii** e **Pinus taeda** no Segundo Planalto do Estado do Paraná", pela utilização dos dados.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, por possibilitar a realização do curso e deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

À Klabin Fabricadora de Papel e Celulose SA, pela conclusão deste trabalho.

Aos demais Professores, Colegas de Curso e Trabalho, Funcionários que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

## BIOGRAFIA

MOACIR MARCOLIN, filho de Agostinho Massarol Marcolin e Ivanilde Secco Marcolin, nasceu em Tapejara, Estado do Rio Grande do Sul, no dia 23 de julho de 1961.

Concluiu o 1º grau em 1975 na Escola Medianeira de Todas as Graças, Tapejara e o 2º grau em 1978 na Escola Técnica de Contabilidade, Tapejara - RS.

Em 1979 iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, graduando-se em 1983.

Em 1984 iniciou o Curso e Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, na Universidade Federal do Paraná, concluindo os requisitos para o grau de M. Sc. em 1986.

Atualmente exerce atividades na Klabin Fabricadora de Papel e Celulose SA, na área de Pesquisas Florestais, onde desempenha funções nas áreas de Biometria e Inventário Florestal e Estatística, tendo iniciado a atuação em 1986.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
RESUMO .....	X
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 IMPORTÂNCIA E OBJETIVOS .....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1 CONCEITUAÇÃO .....	5
2.1.1 Altura dominante .....	6
2.1.2 Classe de sítio .....	7
2.2 PROCESSO DE ESTIMATIVA .....	8
2.3 CONFIABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO .....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1 LOCALIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS .....	13
3.2 PROCESSO DE AMOSTRAGEM E OBTENÇÃO DOS DADOS .....	14
3.2.1 Escolha, derrubada das árvores, marcação e retirada dos discos .....	14
3.2.2 Preparo das fatias .....	15
3.2.3 Obtenção dos pares de altura e idade .....	17
3.3 IDADE ÍNDICE .....	18
3.4 INTERVALOS DE CLASSE .....	18
3.5 MODELO MATEMÁTICO .....	19

3.6	COMPARAÇÃO DA TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO ENTRE LOCAIS .....	21
3.7	PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE SÍTIO ANAMÓRFICAS E POLIMÓRFICAS .....	21
3.8	CONFIABILIDADE E ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE .....	23
3.9	DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO .....	24
3.10	PROCEDIMENTOS PARA A ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES POR CLASSE E IDADE .....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	26
4.1	COMPARAÇÃO DE CRESCIMENTO ENTRE LOCAIS .....	26
4.2	AJUSTE DA FUNÇÃO PARA A ELABORAÇÃO DE CURVAS ANAMÓRFICAS .....	30
4.3	ELABORAÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS .....	34
4.4	CONFIABILIDADE E ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE .....	39
4.5	ESTIMATIVA DO TAMANHO DA AMOSTRA PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS .....	48
4.5.1	Tamanho da amostra para 10 % de erro .....	48
4.5.2	Tamanho da amostra para 5 % de erro .....	52
4.5.3	Considerações sobre o tamanho da amostra para construção de curvas de índice de sítio .....	55
5	CONCLUSÕES .....	57
	SUMMARY .....	59
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01    Conjunto de curvas anamórficas .....	33
02    Conjunto de curvas polimórficas .....	38
03    Estabilidade e confiabilidade da classe 1 .....	40
04    Estabilidade e confiabilidade da classe 2 .....	41
05    Estabilidade e confiabilidade da classe 3 .....	42
06    Estabilidade e confiabilidade da classe 4 .....	43
07    Estabilidade e confiabilidade da classe 5 .....	44
08    Tamanho de amostra para 10 % de erro .....	50
09    Tamanho de amostra para 5 % de erro .....	54



## LISTA DE TABELAS

Quadro	Página
01 Distribuição das árvores de <b>Pinus taeda</b> em classes de altura, idade e local coletado .....	17
02 Número de árvores usadas para a construção das curvas de índice de sítio por idade e classe de qualidade .....	19
03 Resultados estatísticos do ajuste da função para cada árvore do local 1 (município de Ponta Grossa) .....	27
04 Resultados estatísticos do ajuste da função para cada árvore do local 2 (município de Telêmaco Borba) .....	28
05 Resultados estatísticos do ajuste da função para cada árvore do local 3 (município de São Mateus do Sul) .....	29
06 Valores dos limites das alturas dominantes por idade e classe de sítio para as curvas anamórficas .....	32
07 Resultados estatísticos para as equações auxiliares .....	34

08	Resultados gerados pela função original e resultados esperados para índice de sítio .....	35
09	Intervalos das alturas dominantes por idade e classe de sítio para as curvas polimórficas .....	37
10	Número de árvores necessárias por classe de sítio e idade para um erro de 10% e 95% de probabilidade	49
11	Número de árvores necessárias por classe de sítio e idade para um erro de 5% e 95% de probabilidade	53

POLIMORFISMO E TAMANHO DA AMOSTRA PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA *Pinus taeda* L., NO SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE

Autor: Moacir Marcolin

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido com a finalidade de comparar e avaliar curvas de índice de sítio elaboradas pelos métodos anamórficos e polimórficos, juntamente com a determinação de tamanho de amostra para a construção das mesmas, em povoamentos de *Pinus taeda* do Segundo Planalto do Estado do Paraná. Os dados utilizados na investigação, são valores de altura e idade, obtidos através de análise de tronco de 63 árvores dominantes, distribuídas em todas as classes de sítio e apresentaram uma dispersão de 15 a 17 anos de idade. As curvas de índice de sítio foram desenvolvidas, aplicando-se a função de Prodan, apresentada a seguir:

$$H = ( I ** 2 ) / ( b0 + b1 * I + b2 * I ** 2 )$$

sendo:

I = idade

H = altura

b0, b1 e b2 coeficientes da função.

A estabilidade e confiabilidade das curvas de sítio elaboradas pelos dois métodos foram avaliadas através da representação gráfica para cada classe de sítio comparadas com alturas reais de árvores dominantes. Após a avaliação e escolha do método mais adequado para elaborar curvas de sítio, procedeu-se a determinação do tamanho de amostra para cada classe, em função da idade e largura da mesma. Os resultados mostraram que o sistema de curvas polimórficas foi o mais preciso e adequado para este estudo, estimando com fidelidade e precisão a tendência de crescimento em altura das árvores dominantes. O modelo matemático juntamente com a metodologia empregadas para a construção de curvas de sítio polimórficas apresentaram resultados bastante satisfatórios e precisos, atingindo com sucesso os objetivos do estudo. Foi determinado serem necessárias amostras de 10 e 20 árvores por classe, para se construir curvas de sítio polimórficas, com erro de 10% e 5% respectivamente.

## 1 - INTRODUÇÃO

Realizar o levantamento da capacidade produtiva de solos florestais é uma atividade básica e de elevada importância, visto que ela fornece informações sobre o potencial do solo em produzir madeira. Fundamentando-se nessas informações pode-se efetuar o planejamento e condução de um povoamento, objetivando a produção futura de madeira. No Brasil existem poucos estudos nessa área, sendo que apenas um número bastante reduzido de empresas possuem suas propriedades mapeadas, quanto a produtividade florestal.

Dentre os vários métodos utilizados para a classificação da produtividade florestal, aquele que emprega a altura das árvores dominantes é o mais prático e difundido no mundo todo. Este método utiliza uma variável que é a resposta dos fatores locais conjugados, distinguindo-se dos métodos que utilizam informações parciais como mapas climáticos, geomorfológicos ou de outros critérios. A utilização de uma variável de resposta, como a altura das árvores dominantes, fortemente correlacionada com a produção de madeira é um parâmetro seguro de quantificação da capacidade produtiva de um solo.

As intervenções silviculturais praticadas na condução de povoamentos, assim como concorrência entre plantas, influenciam de

alguma maneira as variáveis normalmente utilizadas para a caracterização do potencial de produtividade de um sítio. A altura das árvores dominantes é uma variável que não sofre influências de tratos silviculturais e competição, sendo preferida para realizar estudos de classificação de produtividade florestal. Por isso, os florestais do mundo inteiro tem preferido usar a altura das árvores dominantes correlacionada com a idade, para a construção de curvas de índice de sítio.

A utilização da altura dominante para ajustar funções de crescimento em altura; e para a representação gráfica das classes de produção, é influenciada por vários fatores, tais como a idade base de referência; idade do povoamento e número de árvores a ser amostrado.

Quando é feita a delimitação de áreas florestais, utilizando-se a altura dominante para povoamentos jovens, surgem preocupações da confiabilidade dessas previsões futuras quanto ao comportamento em crescimento e estabilidade das classes de produtividade. Adicionam-se a estas, outras dúvidas como: a amplitude do intervalo de classes na idade base; quantas árvores medir, para efetuar uma classificação segura com um intervalo de confiança definido para as diferentes idades do povoamento.

As árvores diferem entre si nas taxas de crescimento e ao longo de suas existências. Ao utilizar-se equações matemáticas para expressar seu crescimento, é muito importante analisar se as árvores de diferentes locais apresentam formas de crescimento iguais ou diferenciadas entre si. A ocorrência dessa diferenciação ou polimorfismo entre formas de crescimento indica que deve-se

ajustar equações independentes para cada árvore, conduzindo dessa forma, à uma classificação mais precisa.

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de construir um conjunto de curvas de índice de sítio, comparar classes de sítio construídas pelos métodos anamórfico e polimórfico, avaliar a estabilidade e confiabilidade das classes de produtividade, e determinar o número de árvores necessárias para uma classificação de sítio com uma precisão pré-estabelecida, em povoamentos implantados com **Pinus taeda** no Segundo Planalto Paranaense.

#### 1.1 - IMPORTÂNCIA E OBJETIVOS

A classificação da produtividade florestal, principalmente em povoamentos implantados, é um recurso fundamental, mas não isolado. É parte de um conjunto de informações básicas, que devem ser consideradas quando a meta é dispor e aplicar um sistema integrado de manejo. Esse sistema é indispensável para a racionalização e otimização do uso dos recursos florestais. Deve conter dados climáticos, geomorfológicos, topográficos, hidrológicos, ecológicos, silviculturais, financeiros e especialmente dados precisos de medição da produtividade, volume, peso e comercialização dos produtos. O manuseio desta massa de informações no Brasil é fator limitante, em virtude da falta de pessoal capacitado e muitas vezes as informações estarem incompletas ou mesmo ausentes.

A contribuição do presente estudo está voltada para o aperfeiçoamento da área de classificação da capacidade produtiva dos solos florestais destacando os seguintes objetivos:

a - Construir um conjunto de curvas de índice de sítio polimórficas para **Pinus taeda** na região do 2º Planalto Paranaense.

b - Comparar classes de sítio de mesma idade índice, largura e posição, geradas pelos métodos anamórfico e polimórfico.

c - Testar a estabilidade e confiabilidade das curvas de índice sítio através da representação gráfica de árvores, selecionadas na idade índice.

d - Precisar quantas árvores dominantes são necessárias para a elaboração de curvas de sítio, para um intervalo de confiança definido, em função da idade do povoamento, idade base e amplitude da classe de produtividade.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - CONCEITUAÇÃO

O sítio é definido como a capacidade de produção de uma determinada área, considerando o seu ambiente com determinadas particularidades de tipos e qualidades de sua vegetação. Os sítios podem ser classificados de maneira qualitativa em diferentes tipos em função de seu clima, solo e vegetação, ou na forma quantitativa em classes de sítio, fundamentado em seu potencial de produzir madeira, de acordo com a SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS <sup>36</sup>. O potencial de produção é expresso de várias maneiras, seja produção de volume por unidade de área, altura das árvores dominantes ou altura média (povoamentos sem intervenções), área basal e ainda incremento, conforme ANUCHIN <sup>32</sup>.

De acordo com JONES <sup>19</sup> a maioria dos pesquisadores florestais estão voltados para dois propósitos principais de classificação de sítio; identificar o potencial de produtividade e fornecer uma estimativa de referência para diagnosticar e prescrever o manejo de solo. Segundo o autor, o primeiro propósito recebeu maior atenção, passando o outro ao plano secundário. AVERY & BURKHART <sup>33</sup> apresentaram uma interpretação para este raciocínio baseada no fa-



to de que medidas diretas de sítio podem não ser de valor imediato ao florestal prático. Consequentemente, estimativas indiretas de sítio são frequentemente empregadas. DE HOOG <sup>12</sup> estudou a relação de sítio, nutrição e crescimento de **Araucaria angustifolia** e enfatizou que a classificação de sítio deve ser menos baseada em tipos de solo e mais em características específicas de sítio.

#### 2.1.1 - Altura dominante

COILE <sup>11</sup> afirmou que a altura das árvores dominantes é a melhor medida direta de produtividade de um solo, porque estas árvores são as que menos sofrem influências da densidade do povoamento e de tratos silviculturais.

De acordo com BURKHART & TENNENT <sup>10</sup>, ALDER <sup>11</sup>, SCHNEIDER & SILVA <sup>12</sup> a altura dominante é definida como sendo a média das alturas das 100 árvores mais grossas e bem formadas, por hectare.

ANUCHIN <sup>13</sup> afirmou que grande número de experimentos e observações sugerem que a altura do povoamento em uma idade definida é o melhor indicador das condições do local. No estudo realizado por HARMS & LANGDON <sup>14</sup> sobre um povoamento natural de **Pinus taeda**, para verificar o desenvolvimento desta espécie em povoamentos densos, constataram que a altura das árvores dominantes não foi estatisticamente diferente, ao nível de 95% de probabilidade (teste de médias Duncan), para diferentes densidades de plantas, a partir de 6000, 3700 e 2000 árvores por ha na idade de 14 anos. Estes resultados vem de encontro aos de JONES JR <sup>15</sup> o qual relata que em povoamentos de regeneração natural de **Pinus elliottii**, o efeito da

densidade sobre a altura das árvores dominantes possui pouca importância, quando a densidade dos mesmos é inferior a 3000 árvores por ha, como normalmente ocorre em povoamentos implantados.

CAMPOS & TURNBULL <sup>32</sup> trabalhando com **Pinus patula**, afirmaram que a relação entre idade e altura das árvores dominantes ou codominantes, é um dos indicadores mais utilizados da capacidade produtiva de um povoamento florestal. Destacaram ainda que, para a maioria das espécies, essa relação não é influenciada pela densidade, pelo menos nos espaçamentos usuais. Esta afirmação necessita de estudos mais abrangentes e detalhamento dos espaçamentos referenciados.

#### 2.1.2 - Classe de sítio

Realizar o levantamento da capacidade produtiva de um solo florestal é um procedimento básico para o conhecimento do potencial disponível, objetivando a aplicação de técnicas específicas e diferenciadas para cada classe para atingir os melhores resultados em produção futura de madeira.

Para se efetuar uma diferenciação entre a capacidade de produção dos solos florestais, normalmente expresso em crescimento em altura das árvores dominantes, faz-se conveniente realizar a divisão da amplitude em um certo número de faixas ou classes sobre uma idade base de referência. Estas são definidas como classes de sítio ou de produtividade. SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS <sup>34</sup> definiu classe de sítio ou classe de produtividade como uma medida da capacidade relativa de produção de uma área de exploração ou sobre

um povoamento em estudo, baseado sobre o volume, ou a altura (dominante, codominante ou média), ou o máximo de incremento médio anual que é atingível numa determinada idade.

## 2.2 - PROCESSO DE ESTIMATIVA

Para se construir curvas de produtividade utiliza-se geralmente informações de altura e idade. Essas informações podem ser obtidas de levantamentos temporários, parcelas permanentes, análise de tronco ou medição das alturas dos verticilos anuais.

De acordo com CARMEAN <sup>22</sup> a análise de tronco é o método mais apropriado e preciso para o desenvolvimento de curvas para classes de produtividade. As curvas fundamentadas neste método têm confirmado que o crescimento em altura das árvores dominantes é geralmente polimórfico. As parcelas permanentes podem fornecer resultados semelhantes aos da análise de tronco, desde que as medições sejam efetuadas no final dos períodos de crescimento.

STAGE <sup>23</sup> construiu curvas polimórficas de índice de sítio para **Abies grandis**, com dados obtidos por análise de tronco. Para a construção das curvas de classe de produtividade utilizou a função exponencial abaixo:

$$H = b_0 * e^{** ( (-b_1 / I ) ** b_2 )}$$

onde:

H = Altura total da árvores em metros;

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> coeficientes da função;

I = idade em anos;

e = base do logaritmo natural.

CARMEAN <sup>26</sup> desenvolveu curvas de índice de sítio para diversas espécies de carvalhos, usando dados de análise de tronco relatando que cada espécie possui forma diferente de crescimento em altura. Observou também que a altura dominante apresenta formas polimórficas de crescimento para diferentes níveis de qualidade de solos. Este autor testou 15 equações, para construir as curvas de sítio, e selecionou o modelo que apresentou melhores resultados, maior precisão e flexibilidade que foi a função não linear, também conhecida como função de Chapman-Richards, apresentada a seguir:

$$H = b_1 * ( ( 1 - e ** ( -b_2 * I ) ) ** b_3 )$$

onde:

H = Altura total da árvore em metros;

I = idade em anos;

b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> e b<sub>3</sub> coeficientes da função;

e = base do logaritmo natural.

GRANEY & BURKHART <sup>14</sup> desenvolveram um estudo com a espécie **Pinus echinata**, comparando curvas polimórficas e anamórficas e afirmaram que as curvas polimórficas produzem estimativas não tendenciosas para todas as idades e classes de qualidade de sítios. Salientaram que elas reduzem os erros de estimativas e que estas curvas são preferíveis às anamórficas para povoamentos com idade inferior a 40 anos. Neste estudo também foi selecionada a função não linear de Chapman-Richards, já apresentada acima.

MONSERUD <sup>27</sup> comparou curvas de índice de sítio de **Pseudotsuga menziesii glauca**, de diversas regiões, geradas pelos proces-

so anamórfico e polimórfico e relatou que os sistemas de curvas guia (anamórficos), produziram curvas surpreendentemente similares entre si, apesar das árvores estudadas serem de regiões diferentes. O autor citou que estas diferenças podem ser atribuídas unicamente aos métodos diferentes de construção das curvas de sítio, ou seja o método de análise de tronco versus o da curva guia. Destacou também que esta diferença acentuada foi demonstrada pela aplicação de ambos os métodos sobre os mesmos dados.

LUNDGREN & DOLID <sup>23</sup> trabalharam com várias espécies de coníferas e folhosas, na classificação de produtividade de sítios e obtiveram bons resultados utilizando a função exponencial de Chapman-Richards.

KING <sup>24</sup> selecionou a equação linear de Prodan na construção de curvas de índice de sítio para **Abies grandis**, MACHADO <sup>25</sup>, <sup>26</sup> também desenvolveu curvas de índice de sítio polimórficas para plantações de **Pinus taeda**, na região central do Estado do Paraná, obtendo bons resultados com o emprego desta função. A mesma função também foi selecionada por SCHNEIDER & SILVA <sup>22</sup> para construir classes de qualidade para **Acacia mearnsii**. CAMPOS & TURNBULL <sup>27</sup> utilizaram o mesmo modelo para curvas de índice de sítio para **Pinus patula**. A função é uma hipérbole de 2º grau, apresentada a seguir:

$$H = (I ** 2) / (b0 + b1 * I + b2 * I ** 2)$$

onde:

H = Altura total da árvore em metros;

I = idade em anos;

b0, b1 e b2 são os coeficientes da função.

## 2.3 CONFIABILIDADE DE CLASSIFICAÇÃO

HEGER <sup>17, 18</sup> construiu intervalos de confiança para curvas de sítio para a espécie **Picea glauca**, com dados obtidos de análise de tronco, calculando o número de árvores necessárias para curvas de sítio com 3.0 metros de intervalo na idade índice. Estimou serem necessárias amostras médias de 20 árvores dominantes para classes de sítio nas idades de 25-100 anos, para uma precisão de 95% de probabilidade. Para a mesma precisão á idades mais jovens de 15 anos foram necessárias 50 árvores para sítios médios e acima de 50 árvores para sítios extremos.

McQUILKIN e ROGERS <sup>27</sup>, apresentaram um método para determinar a precisão da estimativa de índice de sítio obtido através de funções de crescimento em altura de árvores dominantes, para **Quercus spp.** Estes autores trabalharam com dois métodos de estimar índice de sítio; o primeiro através da estimativa de árvores individuais e o segundo através de uma amostra de várias árvores. Os resultados apontaram que a precisão das estimativas de índice de sítio aumenta com o aumento do tamanho da amostra; proximidade da idade índice e precisão da mensuração das árvores. Citaram também que o índice de sítio resultante de amostras de 10 árvores, ocasionou um erro em torno de 1,0 metro para as idades de 0 a 80 anos.

MONSERUD <sup>28</sup> trabalhando com **Pseudotsuga menziesii glauca**, relatou que o número de árvores a ser amostrado para a determinação de sítio para uma precisão requerida, pode ser determinado pela representação gráfica do erro padrão da curva, versus a idade e

versus o tamanho da amostra. Relatou também que com amostras a partir de 3 árvores a precisão praticamente não se altera para idades acima de 30 anos. Para estas idades o erro padrão situou-se em torno de 1,5 metros, já para idades inferiores a 30 anos o erro padrão aumenta acentuadamente na medida em que a idade diminui.

LLOYD & HAFLEY <sup>22</sup> trabalharam com dados de altura e idade de **Pinus taeda** e apresentaram uma estimativa de variância para índice de sítio prognosticado. Os resultados indicaram que a mudança da largura dos intervalos de classe ou a idade do povoamento, exerceram uma influência bastante grande na realização desta classificação. Ainda segundo estes autores, a probabilidade resultante de uma classificação errada é uma função da largura do intervalo de classe do índice de sítio, do tamanho da amostra, da idade base e da idade do povoamento.

Os resultados obtidos pelos autores indicaram que, para um intervalo de largura de classe de 3,0 metros e idade índice de 50 anos, uma amostra de 3 árvores resultou numa probabilidade de de classificação errada da ordem de 40% para a idade de 10 anos. Já para a idade acima de 20 anos esta probabilidade baixou para 20% e apresentou a tendência de decrescer e estabilizar-se com o aumento da idade do povoamento.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - LOCALIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS

Os dados para o presente trabalho foram coletados em povoa-  
mentos implantados com **Pinus taeda**, situados na faixa de solo de-  
finida como Segundo Planalto Paranaense e são informações parciais  
do projeto: "Classificação de sítio para **Araucaria angustifolia**,  
**Pinus elliottii** e **Pinus taeda** no 2º Planalto do Estado do Paraná"  
desenvolvido pela FUND DA UFPR - FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO PARANÁ <sup>19</sup>.

A coleta dos dados foi realizada em povoamentos com idades  
de 16 e 17 anos, bem manejados e sem clareiras, aparentemente li-  
vres de distúrbios passados como incêndios, doenças, ataques de  
pragas e danos físicos. Os locais de coleta dos dados foram:

a) Fazenda Cambiju e Rio do Salto, com área em torno de  
2.000 ha de **Pinus taeda**, propriedade de Slaviero Florestal SA, si-  
tuados às margens da Rodovia do Café, quilômetros 59 e 70 respecti-  
vamente, no município de Ponta Grossa - PR.

b) Fazenda Monte Alegre, com área em torno de 50.000 ha de  
**Pinus taeda**, propriedade de Klabin Fabricadora de Papel e Celulose  
SA, no município de Telêmaco Borba - PR.



c) Fazenda Novo Horizonte, com área em torno de 100 ha de **Pinus taeda**, propriedade de Cesbe Engenharia S/C Ltda, situada as margens da Rodovia do Xisto, quilômetro 106, no município de São Mateus do Sul - PR.

### 3.2 - PROCESSO DE AMOSTRAGEM E OBTENÇÃO DOS DADOS

O processo de amostragem obedeceu critérios pré-fixados; abranger toda a amplitude de crescimento em altura dos povoamentos, para isso o primeiro passo foi realizar uma avaliação detalhada das florestas de interesse, buscando-se abranger toda a amplitude de variação das mesmas. Assim procedido, foram definidos os locais para a coleta dos dados. Após definidos estes locais, procedeu-se a instalação e medição de parcelas temporárias de 600 m<sup>2</sup> cada. Em cada uma destas, foi medido o DAP (diâmetro a 1,3 metros de altura), de todas as árvores e altura de 30 delas; na sequência identificou-se e marcou-se as árvores dominantes de cada parcela. Os dados necessários para o presente estudo foram pares de altura e idade, obtidos através de análise de tronco das árvores dominantes.

#### 3.2.1 - Escolha, derrubada das árvores, marcação e retirada dos discos

A metodologia estabelecida pelo projeto da FUND DA UFPR <sup>19</sup> definiu como critério a derrubada das duas árvores dominantes mais próximas ao centro de cada parcela. Após identificadas estas árvo-

res foi medido e marcado o DAP (diâmetro a altura do peito, ou seja a 1,3 metros de altura), de ambas, em seguida foram abatidas e desganhadas. Na sequência foram marcados os locais de retirada dos discos, segundo o procedimento: a 1ª fatia retirada a 0,0 m de altura, seguida de 0,3 m, 0,7 m, 1,3 m (DAP), e 2,0 m, após esta, a cada 2 metros até atingir a altura total da árvore. Algumas vezes foi necessário mudar-se ligeiramente essa ordem, para evitar que os pontos de retirada dos discos recaíssem sobre nós ou alguma irregularidade do fuste. Nesses casos efetuou-se um avanço em torno de 20 cm. As fatias foram retiradas com uma espessura em torno de 5 cm. Um procedimento idêntico foi adotado por MACHADO <sup>25</sup> e também CAMPOS & TURNBULL <sup>27</sup>.

### 3.2.2 - Preparo das fatias e medição dos anéis

Efetuada a retirada e identificação das fatias, estas foram secas em estufa e lixadas na face superior, ficando desta forma em condições adequadas para serem efetuadas as medições dos anéis de crescimento de cada disco. A medição dos anéis de crescimento foi realizada de acordo com metodologia apresentada por BARRUSO <sup>25</sup>.

A sequência da medição foi a seguinte: assinalou-se o maior raio de cada fatia, após no sentido horário a 45 graus marcou-se o 1º raio de medição, em seguida a 90 graus em relação ao primeiro, foi marcado o 2º raio de medição e assim sucessivamente foi marcado o 3º e 4º raio. Dessa forma, cada raio apresentou ângulo de 90 graus entre si. Após assinaladas as 4 direções mediram-se todos os anéis de crescimento de cada fatia.

### 3.2.3 - Obtenção dos pares de altura e idade e número de árvores coletadas

As medições forneceram 4 valores por anel de crescimento de cada disco, destes calculou-se a média aritmética e em sequência foi reconstituído cada período de crescimento em altura de cada árvore.

O número de árvores coletadas para a espécie em estudo foi definido conforme metodologia estabelecida pela FUNDAÇÃO UFPR <sup>19</sup> referente ao projeto: "Classificação de sítio para **Araucaria angustifolia**, **Pinus elliottii** e **Pinus taeda** no 2º Planalto do Estado do Paraná". Em estudo destinado a construção de curvas de índice de sítio para plantações de **Pinus taeda** na região central do Estado do Paraná, MACHADO <sup>20</sup> coletou 64 árvores dominantes, CAMPOS & TURNBULL <sup>21</sup> coletaram 78 árvores dominantes para elaborar curvas de índice de sítio de **Pinus patula**, na região de Camanducaia Estado de Minas Gerais.

No presente estudo foram coletadas 63 árvores dominantes de **Pinus taeda**, como mostra a Tabela 01.

TABELA 01 : Distribuição das árvores de **Pinus taeda** em classes de altura, idade e local coletado.

ALTURA (metros)	I D A D E (anos)			L O C A L			TOTAL
	15	16	17	1	2	3	
Até 10,9			1		1		1
11,0 - 11,9			4		4		4
12,0 - 12,9			1		1		1
13,0 - 13,9							
14,0 - 14,9							
15,0 - 15,9		2	2	2	2		4
16,0 - 16,9		2	3	4	1		5
17,0 - 17,9	2	4	3	2	6	1	9
18,0 - 18,9	1	2	2	3	1	1	5
19,0 - 19,9	1	3	3	3	3	1	7
20,0 - 20,9		5	1		6		6
21,0 - 21,9	3	4		4	2	1	7
22,0 - 22,9		5		1	3	1	5
23,0 - 23,9		2			2		2
24,0 - 24,9		1		1			1
25,0 - 25,9							
26,0 - 26,9		1	1		2		2
27,0 - 27,9		2			2		2
28,0 - 28,9		2			2		2
T O T A L	7	35	21	20	38	5	63

Os locais correspondem aos municípios respectivos:

Local 1 - Ponta Grossa

Local 2 - Telêmaco Borba

Local 3 - São Mateus do Sul.

### 3.3 - IDADE ÍNDICE

A idade índice é um ponto de referência para a determinação da qualidade de sítio para diferentes povoamentos florestais. Embora sua escolha seja arbitrária, é conveniente que esta idade seja o final da rotação prevista, ou próxima a esta, conforme foi recomendado por STRAND <sup>20</sup>. Para o presente estudo a idade índice escolhida foi de 15 anos, pois os povoamentos implantados nos três locais de coleta de dados apresentaram idades máximas de 17 anos. Estes povoamentos não se encontravam próximos ao final da rotação, mas podem ser utilizados para elaboração de curvas provisórias e a medida que, forem obtidos mais dados estas curvas precisam ser ajustadas para as idades futuras.

### 3.4 - INTERVALOS DE CLASSE

O estabelecimento dos intervalos das classes de sítio é realizada sobre a idade índice. Sua largura foi escolhida de maneira a tornar-se prática sua utilização, porém sem perda de precisão e confiabilidade. Esses intervalos foram definidos, representando-se graficamente a amplitude de ocorrência dos dados na idade de 15 anos. Adicionou-se a estes um pequeno valor para cada extremidade, facilitando dessa forma a utilização de números inteiros para as classes.

O número de classes está diretamente relacionado com o intervalo pretendido destas e a amplitude dos valores observados na idade índice. Foram estabelecidas cinco classes de sítio com lar-

gura de 3,5 metros na idade índice, ficando assim representado:

Classe 1 24,01 m - 27,50 m;  
 Classe 2 20,51 m - 24,00 m;  
 Classe 3 17,01 m - 20,50 m;  
 Classe 4 13,51 m - 17,00 m;  
 Classe 5 10,00 m - 13,50 m.

A seguir é apresentado na Tabela 02 a composição do número de árvores para cada classe com suas respectivas idades.

TABELA 2: Número de árvores usadas para a construção das curvas de índice de sítio por idade e classe de qualidade.

IDADE (anos)	CLASSES DE SÍTIO					TOTAL POR CLASSE DE IDADE
	1	2	3	4	5	
15		3	4			7
16	5	13	11	6		35
17	1		7	7	6	21
TOTAL	6	16	22	13	6	63

### 3.5 - MODELO MATEMÁTICO

Para os propósitos do presente estudo foi escolhido um modelo matemático linear, apresentado por PRODAN <sup>30</sup>. A escolha desta função é resultado da ponderação de dois fatores: o primeiro é a simplicidade de obtenção dos coeficientes e uso da mesma para es-

timativa de sítio e alturas, e o segundo foi a precisão e confiabilidade do modelo para os objetivos deste estudo. Este modelo foi utilizado para construção de curvas de índice de sítio com bastante sucesso, e sempre apresentou um bom ajuste, conforme descrito por KING <sup>24</sup>, MACHADO <sup>25, 26</sup>, SCHNEIDER & SILVA <sup>22</sup>. O modelo escolhido foi a equação hiperbólica ponderada de 2º grau, também conhecida como função de Prodan, apresentada a seguir:

$$H = (I^2) / ( B_0 + B_1 \cdot I + B_2 \cdot (I^2) )$$

onde:

H = Altura da árvore;

I = Idade da árvore em anos;

B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> = coeficientes da função.

sendo que, para ajustar a função é transformada para:

$$Z = I^2 / H$$

onde:

Z = Variável transformada

resultando finalmente em:

$$Z = B_0 + B_1 \cdot I + B_2 \cdot (I^2)$$

De acordo com CLUTTER et alii <sup>10</sup> a função acima, permite a obtenção direta do índice de sítio para determinado valor de altura e idade. Já para muitas equações não lineares, em particular a de Chapman-Richards, não é possível obter expeditamente o índice de sítio.

### 3.6 - COMPARAÇÃO DA TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO ENTRE LOCAIS

A verificação da tendência de crescimento em altura entre diversos locais faz-se necessária, porque dependendo dos resultados é preciso construir um conjunto de curvas de sítio para cada local específico.

Conforme recomendado por KING <sup>24</sup>, MACHADO <sup>26</sup> utiliza-se a análise de covariância, para se efetuar comparações entre dados de crescimento procedentes de diversos locais. A análise de covariância, conforme SNEDECOR & COCHRAN <sup>28</sup> é uma técnica que combina características da análise de variância e de regressão, permitindo o controle do erro experimental e o aumento da precisão das informações de interesse.

Para possibilitar a aplicação desta técnica, foi ajustada a função matemática e calculada a variável Z<sub>15</sub>, para cada árvore. A variável Z<sub>15</sub> foi obtida através da seguinte fórmula:

$$Z_{15} = I^{**2} / H_{15}$$

sendo:

Z<sub>15</sub> = Variável transformada para a idade de 15 anos

I = Idade (índice (15 anos)

H<sub>15</sub> = Altura real de cada árvore na idade de 15 anos.

### 3.7 - PROCEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE SÍTIO ANAMÓRFICAS E POLIMÓRFICAS

O objetivo de se construir curvas de sítio com a mesma lar-



gura, idade índice e posição, pelos métodos anamórfico e polimórfico, destinou-se a comparar curvas de sítio similares obtidas por métodos diferentes. Quando se elabora curvas de sítio não é necessário construí-las por ambos os métodos; escolhe-se o método em função dos dados disponíveis e finalidades do trabalho.

De acordo com ALDER <sup>11</sup>, CLUTTER et alii <sup>10</sup> para se construir curvas anamórficas ajusta-se uma função para todo o conjunto de dados, obtendo-se desta maneira uma curva guia. Em seguida faz-se o traçado do conjunto das curvas para os índices de sítio de interesse. Este conjunto de curvas possui linhas paralelas com inclinação constante mas com o intercepto variável.

Para se construir curvas de sítio polimórficas, conforme descrito por CLUTTER et alii <sup>10</sup> o processo requer dados básicos de parcelas remedidas ou análise de tronco. Tendo-se disponível estes dados, o passo seguinte é ajustar a função matemática para cada árvore ou parcela. Efetuados estes ajustes é necessário ajustar as equações auxiliares abaixo:

$$a = a_1 + a_2 * Z$$

$$b = b_1 + b_2 * Z$$

$$c = c_1 + c_2 * Z$$

sendo:

a, b e c equações auxiliares para estimativa das alturas;

a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>1</sub> e c<sub>2</sub> coeficientes das funções.

A variável Z é obtida da seguinte maneira:

$$Z = I^{**2} / IS$$

sendo:

Z = variável transformada

I = idade

IS = índice de sítio

A altura para cada classe e idade é obtida pela substituição das equações auxiliares na função original resultando:

$$H = (I^{**2}) / ( (a_1 + a_2 * Z) + (b_1 + b_2 * Z) * I + (c_1 + c_2 * Z) * I^{**2} )$$

### 3.8 - CONFIABILIDADE E ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE

A estabilidade das curvas de índice de sítio é fundamental para seu uso com precisão em povoamentos florestais conforme afirmado por KING <sup>24</sup>, MACHADO <sup>24</sup>, SCOLFORO & MACHADO <sup>39</sup>. Segundo estes autores a estabilidade pode ser avaliada comparando-se alturas reais versus curvas de índice de sítio. Se as alturas das árvores medidas para determinação de sítio, ficarem bastante próximas ou coincidir com as alturas geradas pela equação de índice de sítio é porque existe uma forte evidência de que estas curvas não são tendenciosas.

Para se testar a confiabilidade da construção das curvas, obtidas pelos dois métodos, bem como sua estabilidade, procedeu-se a representação gráfica das alturas reais de duas árvores por classe. Estas árvores foram escolhidas dentro de cada classe, na

idade índice, onde tomou-se uma árvore próxima a cada extremidade. Outra finalidade da escolha destas árvores foi acompanhar o crescimento e verificar se ocorre mudança de classe ao longo do tempo de árvores situadas próximas das extremidades de curvas de sítio.

### 3.9 - DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

A estimativa do tamanho da amostra para a construção de curvas de índice de sítio, possui elevada importância, visto que através desta pode-se trabalhar dentro de uma precisão estatística definida. Esta estimativa pode ser obtida de várias maneiras. Uma delas é a determinação da grandeza da amostra utilizando-se os valores reais classificados por classe e idade, uma segunda forma é através da simulação, onde gera-se dados aleatórios para os intervalos das classes e idades de interesse. Um estudo baseado em simulação foi realizado por HAGGLUND <sup>10</sup>.

No presente estudo foi utilizado os dados das alturas das árvores dominantes em cada idade. Para tanto classificou-se as árvores em classes de sítio, baseadas na idade índice, a partir de então procedeu-se a estimativa do número de árvores por classe e idade.

### 3.10 - PROCEDIMENTOS PARA A ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES POR CLASSE E IDADE

A determinação foi realizada por classe de sítio e idade,

respeitando-se o critério da aleatoriedade. Tomou-se o conjunto das alturas para cada idade dentro de cada classe e determinou-se o número de árvores para 10% e 5% de erro para uma probabilidade de 95% de probabilidade. Iniciou-se o processo com duas árvores de amostra, calculou-se o número de indivíduos necessários para o erro definido de 10% e 5% ao nível de 95% de confiabilidade, em seguida acrescentou-se um elemento a mais e procedeu-se os cálculos novamente e assim sucessivamente até a inclusão de todos os elementos de cada idade. Para os referidos cálculos utilizou-se a seguinte fórmula, descrita por AVERY & BURKHART <sup>29</sup>.

$$N = ( T \times S / E ) ** 2$$

sendo:

S = desvio padrão das alturas;

T = Valor da distribuição de 'T';

N = Tamanho da amostra em unidades;

E = LE \* X;

LE= limite erro em porcentagem neste caso 10% e 5%;

X = média aritmética das alturas.

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1 - COMPARAÇÃO DE CRESCIMENTO ENTRE LOCAIS

A comparação da tendência de crescimento entre locais foi avaliada pela técnica de análise de covariância. Para a aplicação da mesma foi ajustada a função matemática para cada árvore de cada local. Os resultados estatísticos de cada árvore para cada local são apresentados nas Tabelas 03, 04 e 05 respectivamente.

TABELA 03: Resultados estatísticos do ajuste da função para cada árvore do local 1 (município de Ponta Grossa)

ÁRVORE	ALTURA	Z_15	B0	B1	B2	R2	EPE	F
1	21.3	10.5634	0.38647	0.47366	0.013901	0.9983	0.1394	4436
2	23.0	9.7826	0.38244	0.40123	0.014848	0.9990	0.1001	7318
3	21.8	10.3211	1.02623	0.15973	0.031179	0.9987	0.1084	5337
4	21.9	10.2740	0.96472	0.21700	0.027347	0.9985	0.1146	4683
5	21.4	10.5140	0.38249	0.36292	0.021392	0.9974	0.1616	2701
6	20.8	10.8173	2.35762	-0.08068	0.044036	0.9837	0.4237	453
7	18.3	12.2951	0.29182	0.40808	0.026371	0.9992	0.1263	10136
8	18.4	12.2283	1.59690	0.19336	0.034615	0.9987	0.1507	6191
9	17.5	12.8571	1.03264	0.19813	0.039090	0.9982	0.1981	4377
10	17.9	12.5798	1.94050	0.18499	0.034729	0.9973	0.2155	2984
11	17.8	12.6404	0.84606	0.35130	0.030145	0.9968	0.2588	2487
12	17.0	13.2353	0.93646	0.31796	0.033962	0.9981	0.2086	4150
13	18.7	12.0321	0.79443	0.39997	0.022813	0.9983	0.1413	4159
14	15.0	15.0000	0.90595	0.52357	0.027720	0.9988	0.1649	6266
15	15.2	14.8026	0.20753	0.61880	0.023141	0.9994	0.1218	11845
16	14.8	15.2027	1.19869	0.33885	0.039420	0.9993	0.1422	11391
17	16.0	14.0625	1.49822	0.18562	0.044156	0.9988	0.1734	6774
18	16.0	14.0625	2.28274	0.12958	0.044873	0.9940	0.3758	1324
19	16.9	13.3136	0.05560	0.44124	0.030035	0.9993	0.1231	10334
20	16.4	13.7195	2.71704	0.05770	0.045976	0.9874	0.4623	589
21	10.9	20.6422	2.36471	0.26791	0.064248	0.9867	0.8509	594
22	11.0	20.4545	2.38213	0.53538	0.044869	0.9988	0.2391	6571

sendo: Z\_15 = Variável transformada a idade de 15 anos

B0, B1 e B2 = coeficientes da função

R2 = Coeficiente de determinação ajustado

EPE = Erro padrão de estimativa F = valor do teste " F "

TABELA 04: Resultados estatísticos do ajuste da função para cada  
árvore do local 2 (município de Telêmaco Borba)

ÁRVORE	ALTURA	Z_15	B0	B1	B2	R2	EPE	F
1	26.0	8.6538	1.07485	0.20291	0.021364	0.9985	0.1172	5558
2	25.5	8.8235	0.21274	0.39427	0.012491	0.9994	0.0726	11947
3	26.6	8.4586	0.41830	0.29184	0.016090	0.9990	0.0852	7584
4	26.4	8.5227	0.14148	0.38439	0.011627	0.9991	0.0820	8631
5	27.6	8.1522	0.32473	0.28025	0.016264	0.9995	0.0595	15094
6	27.0	8.3333	0.03779	0.34851	0.013556	0.9994	0.0692	11998
7	21.4	10.5140	0.44113	0.38573	0.019513	0.9987	0.1225	5902
8	20.4	11.0294	0.84581	0.29229	0.025909	0.9981	0.1541	3923
9	21.7	10.3687	2.18430	0.09303	0.030904	0.9816	0.4111	401
10	21.2	10.6132	1.42849	0.14013	0.031553	0.9983	0.1339	4496
11	21.7	10.3687	2.05065	0.00468	0.037557	0.9757	0.4964	302
12	20.4	11.0294	0.41584	0.44428	0.017432	0.9974	0.1820	2841
13	22.7	9.9119	2.26917	-0.04509	0.037863	0.9767	0.4541	315
14	22.6	9.9558	2.43146	-0.11651	0.041777	0.9837	0.3779	454
15	16.9	13.3136	0.99125	0.27779	0.036104	0.9990	0.1357	7544
16	17.5	12.8571	1.46654	0.24352	0.034779	0.9992	0.1170	8905
17	17.1	13.1579	1.27938	0.39389	0.026411	0.9974	0.2058	2898
18	17.4	12.9310	1.02743	0.22971	0.037813	0.9987	0.1342	5583
19	20.0	11.2500	0.91105	0.36103	0.021919	0.9963	0.2136	2037
20	20.0	11.2500	0.64002	0.42653	0.019583	0.9846	0.4548	479
21	20.2	11.1386	2.42241	-0.00553	0.040065	0.9865	0.3866	550
22	19.0	11.8421	0.40146	0.37181	0.025965	0.9996	0.0800	17886
23	18.9	11.9048	0.63094	0.31052	0.029646	0.9992	0.1117	9237
24	18.8	11.9681	1.60376	0.28930	0.027192	0.9953	0.2736	1691
25	19.9	11.3065	0.25701	0.32184	0.028098	0.9987	0.1267	5295
26	19.5	11.5385	1.98441	0.13748	0.033680	0.9904	0.3383	777
27	16.4	13.7195	3.22975	0.02340	0.045552	0.9958	0.2540	1770
28	14.9	15.1007	3.01830	0.13565	0.044299	0.9983	0.1774	4446
29	16.3	13.8037	1.69030	0.23121	0.038836	0.9878	0.5301	649
30	15.3	14.7059	3.15618	-0.25688	0.068104	0.9983	0.2088	4806
31	15.8	14.2405	0.95274	0.35217	0.035523	0.9986	0.1918	5585
32	16.5	13.6364	1.10008	0.18566	0.043314	0.9973	0.2576	2973
33	11.5	19.5652	1.57739	0.37120	0.055537	0.9946	0.5180	1473
34	11.0	20.4545	3.67418	0.20548	0.061145	0.9945	0.5013	1442
35	10.5	21.4286	1.28395	0.66720	0.045035	0.9950	0.5334	1594
36	9.9	22.7273	2.86848	0.29264	0.069089	0.9932	0.6516	1178

sendo: Z\_15 = Variável transformada a idade de 15 anos

B0, B1 e B2 = coeficientes da função

R2 = Coeficiente de determinação ajustado

EPE = Erro padrão de estimativa F = valor do teste " F "

TABELA 05: Resultados estatísticos do ajuste da função para cada árvore do local 3 (município de São Mateus do Sul)

ÁRVORE	ALTURA	Z_15	B0	B1	B2	R2	EPE	F
1	21.6	10.4167	1.11083	0.30520	0.021886	0.9974	0.1656	2894
2	21.4	10.5140	1.13991	0.32836	0.020079	0.9966	0.1879	2192
3	17.3	13.0058	0.65874	0.50131	0.021254	0.9981	0.1664	3615
4	17.5	12.8571	0.82801	0.58424	0.014396	0.9996	0.0815	17683
5	18.6	12.0968	0.98371	0.41584	0.021869	0.9988	0.1327	6067

sendo: Z\_15 = Variável transformada a idade de 15 anos

B0, B1 e B2 = coeficientes da função

R2 = Coeficiente de determinação ajustado

EPE = Erro padrão de estimativa F = valor do teste " F "

Após o ajuste da função para cada árvore foi aplicada a análise de covariância, sendo esta técnica executada no programa computacional SAS<sup>®</sup>. O resultado da análise indicou que não ocorreu diferença estatística significativa aos níveis de 99% e 95% de probabilidade, no crescimento em altura entre os locais comparados.

Uma resposta para este resultado pode ser obtida analisando-se as Tabelas 03, 04 e 05, onde verificou-se que o local 2 possui dados correspondentes para toda a amplitude de crescimento em altura, contribuindo com cerca de 60% do conjunto de observações. Verifica-se também que os locais 1 e 3 possuem bem menor número de observações e estas ocorrem na faixa intermediária.

Constatado que não ocorreu diferença estatística significativa no crescimento em altura entre locais, os dados foram agrupa-



dos em apenas um conjunto. Este foi utilizado para o ajuste e geração do conjunto de curvas anamórficas e polimórficas.

#### 4.2 - AJUSTE DA FUNÇÃO PARA A ELABORAÇÃO DE CURVAS ANAMÓRFICAS

Através do ajuste do modelo matemático com todo o conjunto de dados (1022 pares de altura-idade), para a construção de curvas de índice de sítio anamórficas, obteve-se a seguinte equação:

$$H = ( I^{**2} ) / ( 1.596732 + 0.152261*I + 0.041279*I^{**2} )$$

sendo:

H = Altura estimada em metros

I = idade em anos

Os indicadores estatísticos apresentaram para o coeficiente de determinação ajustado (R2), valor de 0.7974; para o erro padrão de estimativa o valor foi de 2.094; já o teste F resultou em 2010 (altamente significativo aos níveis de 95% e 99% de probabilidade), e coeficiente de variação o valor de 30,4 por cento.

Observando-se os valores dos indicadores estatísticos verificou-se que o modelo matemático apresentou um ajuste de 80% entre as variáveis altura dominante e idade, expresso pelo R2. O teste F mostrou-se altamente significativo, e o erro padrão de estimativa elevado para a variável transformada.

A análise do coeficiente de variação mostrou uma grande heterogeneidade entre os dados. Este indicador estatístico, que revela a precisão do ajuste do modelo, apontou que apesar dos dados possuírem correlação de 80% entre as variáveis altura dominan-

te e idade, a precisão do ajuste é baixa. Para uma eventual utilização deste modelo, antes é necessário avaliar a confiabilidade das curvas resultantes.

Uma resposta para o valor bastante alto do coeficiente de variação, pode ser obtida analisando-se as tabelas 03, 04 e 05, onde pode ser observado que a variação em altura para uma mesma idade (por exemplo idade índice), e local é bastante ampla.

A partir desta equação elaborou-se uma tabela de valores que representam as classes de qualidade e seus respectivos limites para cada idade. Os valores para cada classe e seus intervalos são apresentados na Tabela 06.

TABELA 06: Valores dos limites das alturas dominantes por idade e classe de sítio para as curvas anamórficas.

IDADE	C L A S S E S D E Q U A L I D A D E									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	3.1	2.7	2.7	2.3	2.3	1.9	1.9	1.5	1.5	1.1
3	6.0	5.2	5.2	4.5	4.5	3.7	3.7	2.9	2.9	2.2
4	9.0	7.8	7.8	6.7	6.7	5.6	5.6	4.4	4.4	3.3
5	11.9	10.4	10.4	8.8	8.8	7.3	7.3	5.8	5.8	4.3
6	14.5	12.7	12.7	10.8	10.8	9.0	9.0	7.1	7.1	5.3
7	16.8	14.7	14.7	12.5	12.5	10.4	10.4	8.3	8.3	6.1
8	18.9	16.5	16.5	14.1	14.1	11.7	11.7	9.3	9.3	6.9
9	20.7	18.0	18.0	15.4	15.4	12.8	12.8	10.1	10.1	7.5
10	22.2	19.4	19.4	16.6	16.6	13.7	13.7	10.9	10.9	8.1
11	23.6	20.6	20.6	17.6	17.6	14.6	14.6	11.6	11.6	8.6
12	24.7	21.6	21.6	18.4	18.4	15.3	15.3	12.1	12.1	9.0
13	25.8	22.5	22.5	19.2	19.2	15.9	15.9	12.7	12.7	9.4
14	26.7	23.3	23.3	19.9	19.9	16.5	16.5	13.1	13.1	9.7
15	27.5	24.0	24.0	20.5	20.5	17.0	17.0	13.5	13.5	10.0
16	28.2	24.6	24.6	21.0	21.0	17.4	17.4	13.9	13.9	10.3
17	28.9	25.2	25.2	21.5	21.5	17.8	17.8	14.2	14.2	10.5
18	29.4	25.7	25.7	21.9	21.9	18.2	18.2	14.5	14.5	10.7
19	30.0	26.1	26.1	22.3	22.3	18.5	18.5	14.7	14.7	10.9
20	30.4	26.6	26.6	22.7	22.7	18.8	18.8	14.9	14.9	11.1

A representação gráfica do conjunto de curvas anamórficas é mostrada na Figura 01.

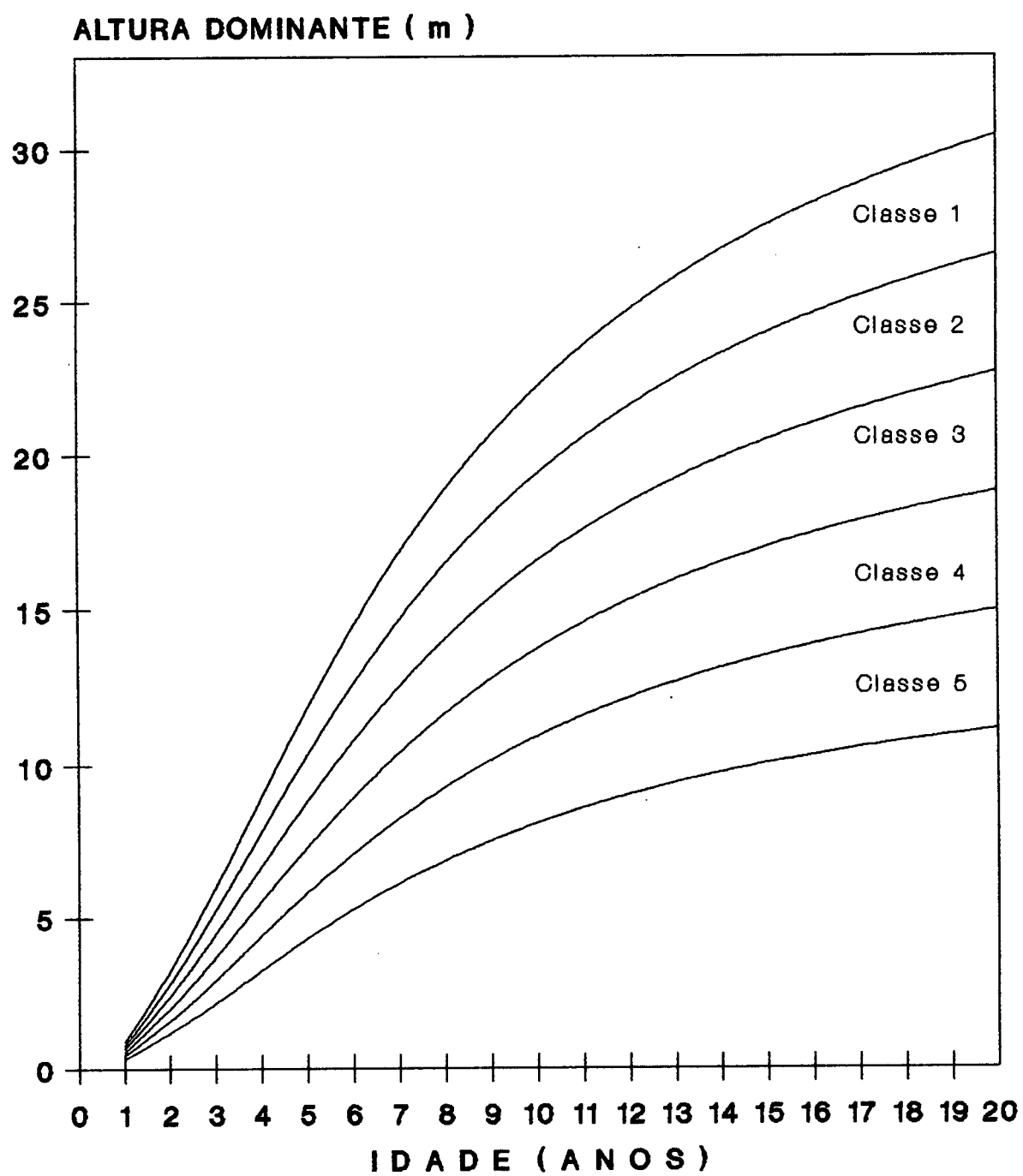


FIGURA 01: Conjunto de curvas anamórficas.

#### 4.3 - ELABORAÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS

Para a elaboração de curvas polimórficas, foi realizado o ajuste da função para cada árvore. Os coeficientes e indicadores estatísticos foram apresentados nas tabelas 03, 04 e 05.

De posse dos coeficientes de cada árvore procedeu-se o ajuste das equações auxiliares, seus resultados são apresentados na Tabela 07.

TABELA 07: Resultados estatísticos para as equações auxiliares

EQUAÇÃO	B0	B1	R2	EPE	F
a	-0.412356	0.134811	0.2241	0.78933	18.9
b	0.146312	0.010352	0.0196	0.17606	2.2
c	-0.007440	0.003140	0.5581	0.00898	79.3

sendo:

B0 e B1 coeficientes do modelo

R2 = coeficiente de determinação ajustado

EPE = erro padrão de estimativa

F = valor para o teste " F "

Na análise da tabela 07 pode ser verificado que estas funções lineares apresentaram um coeficiente de determinação baixo, e a equação "b", o coeficiente foi não significativo. Embora esta não significância da equação "b" a mesma deve ser incluída na equação geral por ocasião da estimativa das alturas para cada curva de índice de sítio.

Estas equações auxiliares foram substituídas na função ori-

ginal para gerar as alturas para as classes de índice de sítio. Os resultados obtidos na idade índice foram levemente tendenciosos, porque as alturas fornecidas pela equação original resultou em valores um pouco abaixo de cada valor esperado. Para a estimativa ser exata as alturas geradas na idade índice devem ser iguais ao índice de sítio, por esta razão é dito que a altura na idade índice é o próprio índice de sítio para aquele local. As alturas geradas pela função assim como o índice sítio esperado são apresentados na Tabela 08.

TABELA 08: Resultados gerados pela função original e resultados esperados para índice de sítio.

ÍNDICE DE SÍTIO ( metros )	IDADE ( anos )	ALTURA GERADA ( metros )	DIFERENÇA ( % )
10.0	15	9.99	-0.10
13.5	15	13.46	-0.30
17.0	15	16.92	-0.47
20.5	15	20.37	-0.63
24.0	15	23.81	-0.79
27.5	15	27.23	-0.98

Apesar das estimativas apresentarem uma pequena tendenciosidade, pode-se afirmar que a função estima com boa precisão as alturas. Basta verificar que a subestimativa máxima observada foi inferior a 1% onde esta tendenciosidade poderia ser resultante da transformação da equação original.

Neste caso para corrigir este pequeno desvio na estimativa das alturas foi ajustada uma função matemática linear. Portanto esta função destinou-se a corrigir as alturas estimadas em função do índice de sítio. A função utilizada foi:

$$Fc = 0.996591 + 0.000481 * IS$$

sendo:

Fc = fator de correção para a altura

IS = índice de sítio

Para o ajuste desta função foram utilizados 20 observações. Os resultados estatísticos foram: Coeficiente de determinação de 0.999 e erro padrão de estimativa 0.001. Após obtidos as alturas e corrigidas para cada curva de sítio, elaborou-se o conjunto de curvas de sítio polimórficas apresentadas na Tabela 09.

TABELA 09: Intervalos das alturas dominantes por idade e classe de sítio para as curvas polimórficas.

IDADE	C L A S S E S D E Q U A L I D A D E									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	3.3	2.8	2.8	2.4	2.4	1.9	1.9	1.5	1.5	1.1
3	5.9	5.1	5.1	4.3	4.3	3.6	3.6	2.8	2.8	2.1
4	8.5	7.4	7.4	6.3	6.3	5.3	5.3	4.2	4.2	3.1
5	11.0	9.6	9.6	8.3	8.3	6.9	6.9	5.5	5.5	4.1
6	13.3	11.7	11.7	10.1	10.1	8.4	8.4	6.7	6.7	5.0
7	15.5	13.6	13.6	11.7	11.7	9.8	9.8	7.8	7.8	5.9
8	17.4	15.3	15.3	13.2	13.2	11.0	11.0	8.8	8.8	6.6
9	19.3	16.9	16.9	14.6	14.6	12.2	12.2	9.7	9.7	7.3
10	20.9	18.4	18.4	15.8	15.8	13.2	13.2	10.5	10.5	7.9
11	22.5	19.7	19.7	16.9	16.9	14.1	14.1	11.3	11.3	8.4
12	23.9	20.9	20.9	17.9	17.9	14.9	14.9	11.9	11.9	8.9
13	25.2	22.0	22.0	18.9	18.9	15.7	15.7	12.5	12.5	9.3
14	26.4	23.1	23.1	19.7	19.7	16.4	16.4	13.0	13.0	9.7
15	27.5	24.0	24.0	20.5	20.5	17.0	17.0	13.5	13.5	10.0
16	28.5	24.9	24.9	21.2	21.2	17.6	17.6	13.9	13.9	10.3
17	29.5	25.7	25.7	21.9	21.9	18.1	18.1	14.3	14.3	10.6
18	30.4	26.4	26.4	22.5	22.5	18.6	18.6	14.7	14.7	10.8
19	31.2	27.1	27.1	23.1	23.1	19.0	19.0	15.0	15.0	11.1
20	32.0	27.8	27.8	23.6	23.6	19.4	19.4	15.3	15.3	11.3

A representação gráfica do conjunto de curvas polimórficas é apresentada na Figura 02.



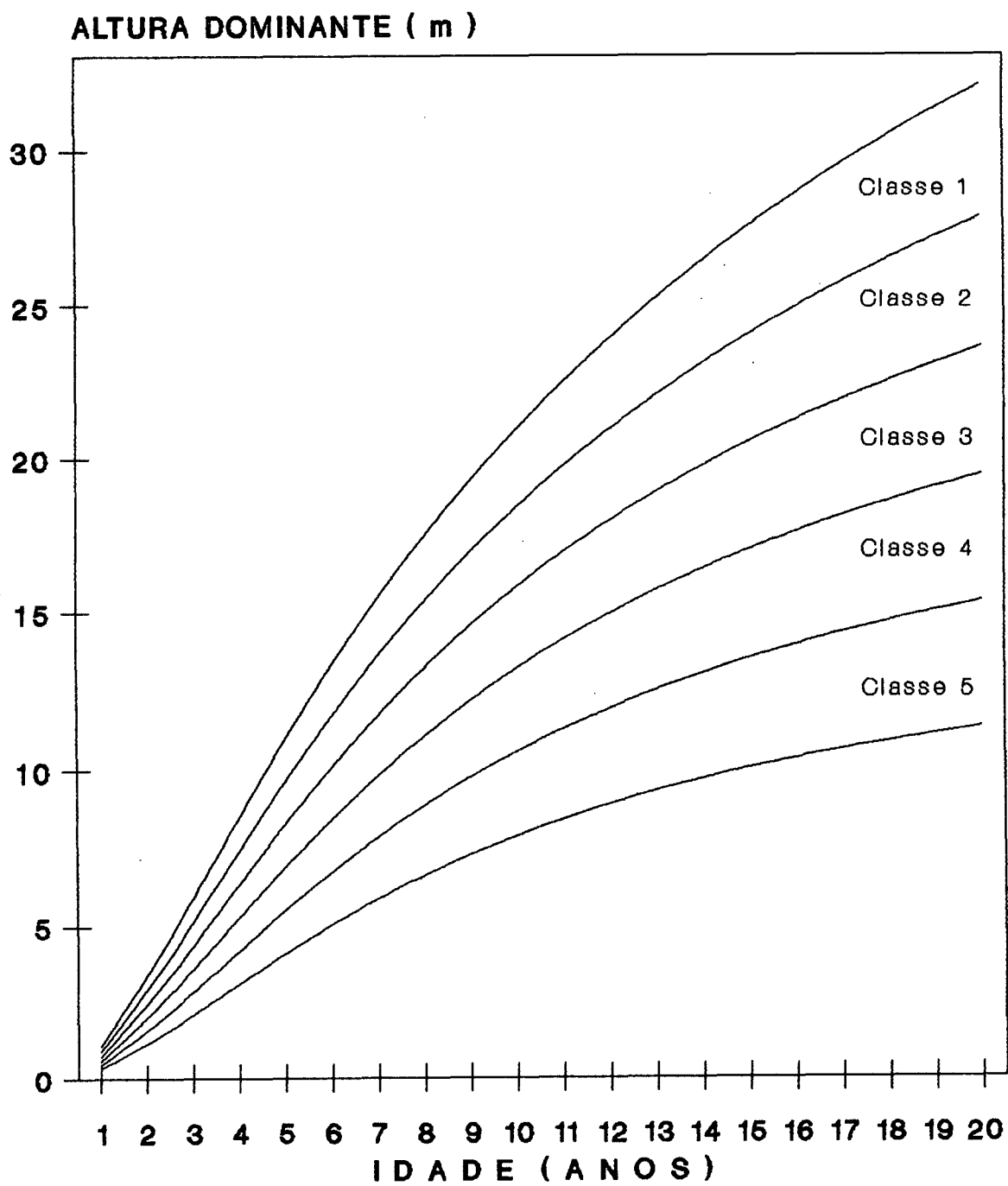


FIGURA 02: Conjunto de curvas polimórficas.

#### 4.4 - CONFIABILIDADE E ESTABILIDADE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE

Após construídas as curvas de classes por ambos os métodos, anamórfico e polimórfico, estudou-se graficamente o comportamento de duas árvores por classe. Para tanto classificou-se as árvores em classes de sítio, baseado na idade índice, a partir de então foi escolhida uma árvore próxima a cada extremidade de cada classe. A finalidade foi avaliar graficamente o comportamento destas árvores, principalmente as situadas próximas aos limites, quanto a uma eventual mudança de classe ao longo do tempo, e qual é confiabilidade de efetuar-se classificações em idades jovens. Outra finalidade importante foi analisar o comportamento de árvores limites em classe de sítio equivalentes, mas elaboradas pelos métodos anamórfico e polimórfico.

Nas Figuras 03, 04, 05, 06 e 07 apresentadas em sequência, estão representadas as cinco classes anamórficas e polimórficas, bem como as respectivas árvores para cada classe.

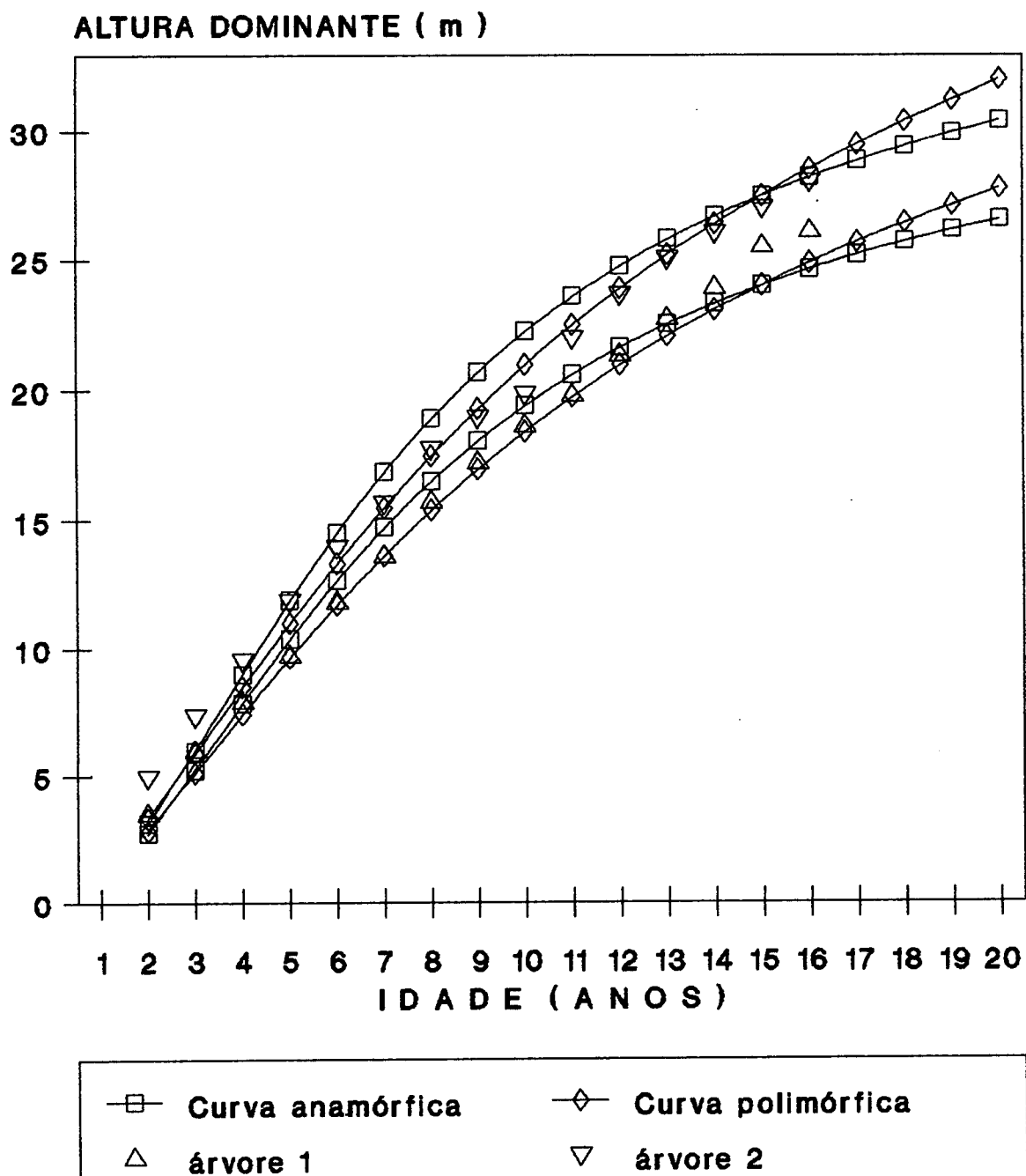
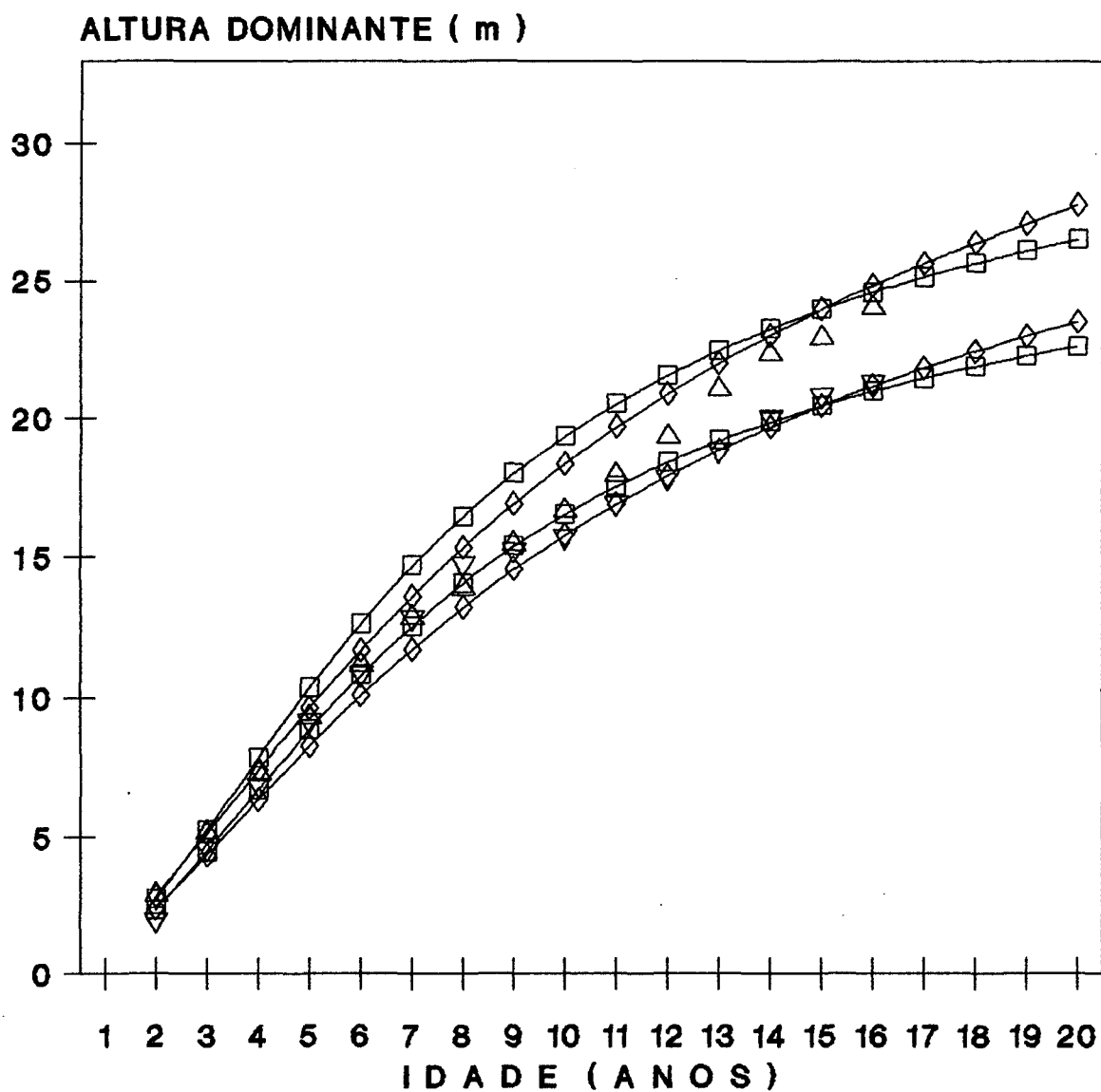


FIGURA 03: Estabilidade e confiabilidade da Classe 1.



—□— Curva anamórfica      —◇— Curva polimórfica  
 △ árvore 1      ▽ árvore 2

FIGURA 04: Estabilidade e confiabilidade da Classe 2.

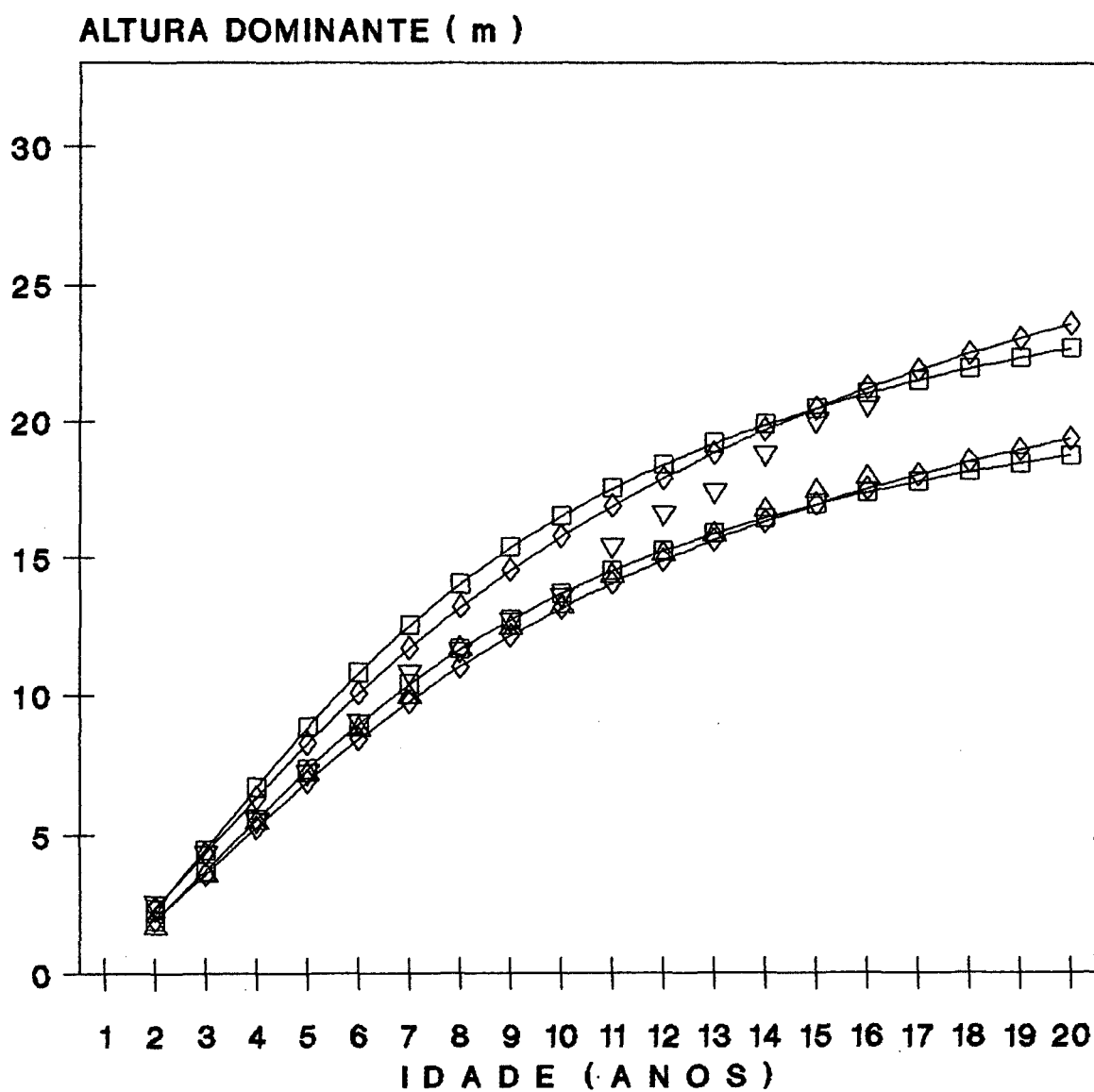


FIGURA 06: Estabilidade e confiabilidade da Classe 3.

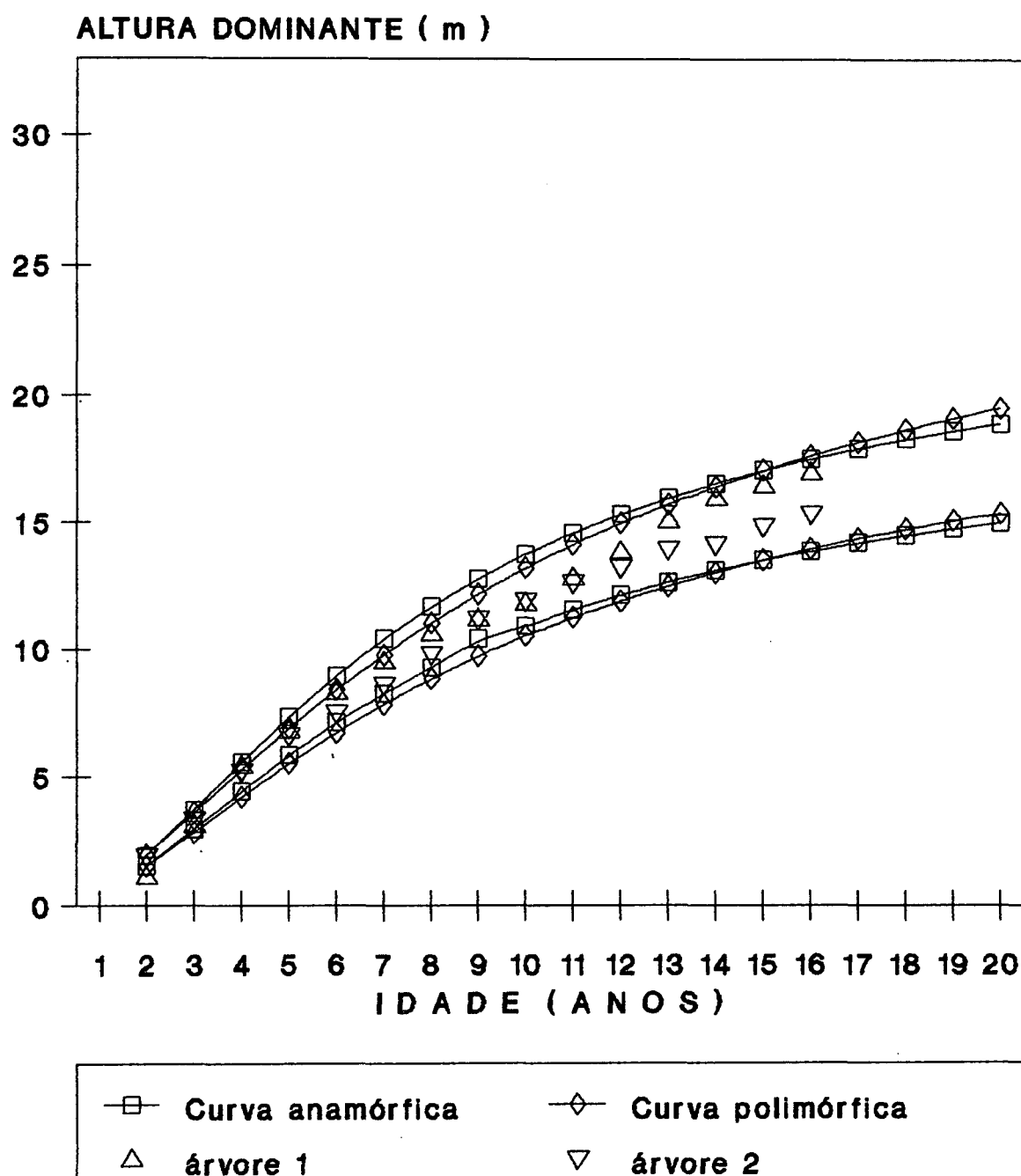


FIGURA 06: Estabilidade e confiabilidade da Classe 4.

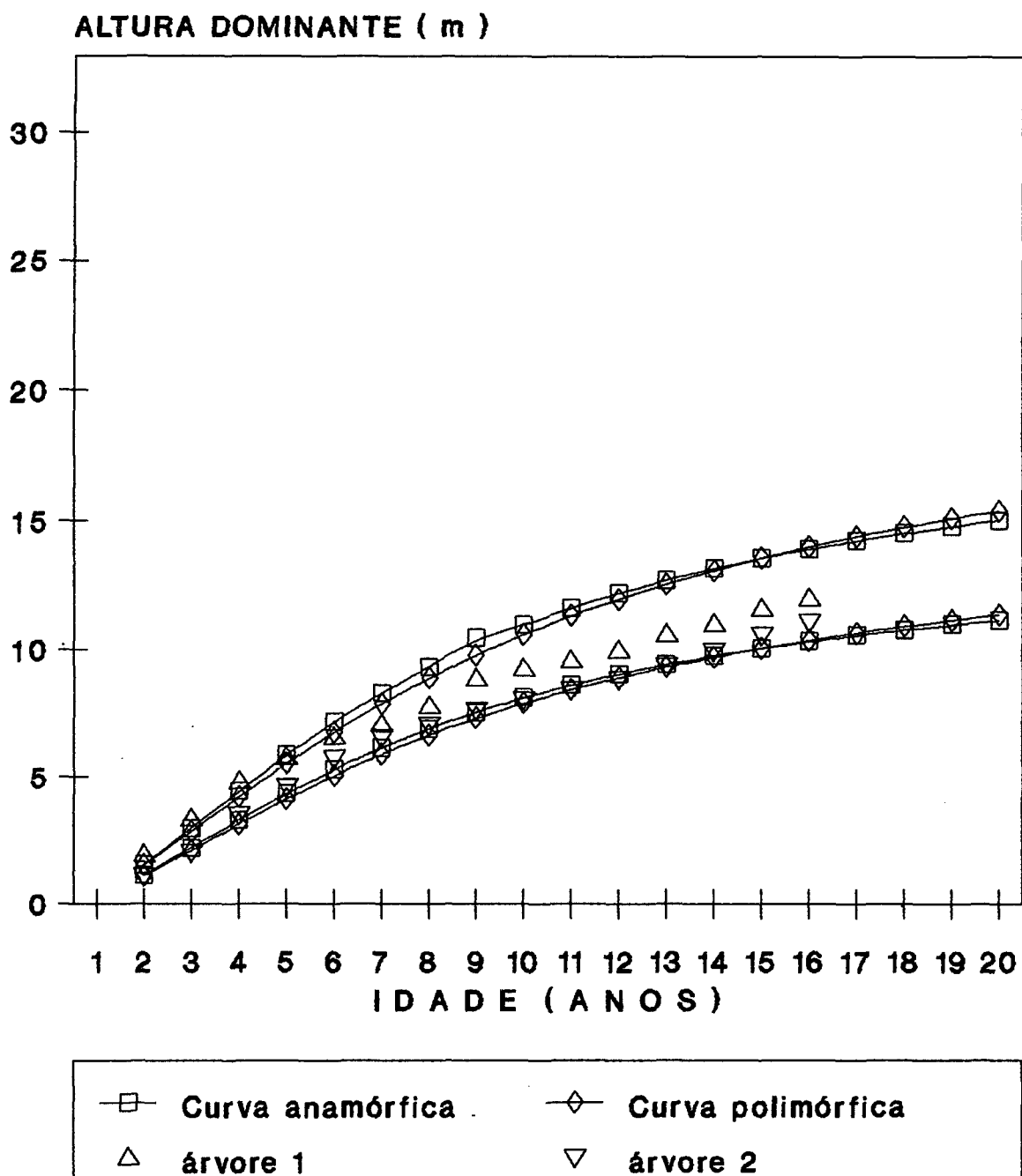


FIGURA 07: Estabilidade e confiabilidade da Classe 5.

A Figura 03 corresponde a classe de qualidade 1, nesta está representada a classe de sítio com intervalo de 24.0 metros a 27.5 metros para a idade índice de 15 anos. Também estão traçadas as curvas geradas pelos métodos anamórfico e polimórfico, juntamente com as duas árvores de teste.

Na avaliação da Figura 03 pode ser verificado que as curvas elaboradas por métodos distintos, diferem acentuadamente entre si, principalmente nos segmentos intermediário e final. Verificou-se também que a curva polimórfica descreve com boa precisão o crescimento das árvores testadas, embora situa-se um pouco abaixo nas idades iniciais até por volta dos 6 anos de idade. Já a curva anamórfica, não representa com boa precisão o crescimento das árvores. Isto pode ser verificado que, a árvore inferior para as idades de 6 a 12 anos, situa-se fora da classe.

Desta comparação de curvas obtidas por métodos diferentes para a classe 1, pode-se afirmar que a curva polimórfica é bem mais adequada, visto que descreve com boa fidelidade o crescimento das árvores testadas, para as idades a partir dos 6 anos.

A Figura 04 refere-se a classe de qualidade 2, nesta está representada a classe de sítio com intervalo de 20.5 metros a 24.0 metros para a idade índice de 15 anos. Na análise da Figura 04 verificou-se que as curvas elaboradas por métodos diferentes divergem nitidamente entre si, como já constatado na Figura 03. A curva anamórfica mantém a tendência de situar-se acima da polimórfica, na fase intermediária e abaixo no segmento final.

Constatou-se também que a curva polimórfica representou com elevada precisão o crescimento em altura das árvores testadas. Por



outro lado a curva anamórfica mantém a tendência de representação deficiente da árvore inferior nas idades de 8 a 13 anos.

A análise da Figura 05, correspondente a classe de qualidade 3, revelou que a curva anamórfica representou de forma muito deficiente o crescimento em altura das árvores testadas. Esta curva manteve a tendência de situar-se acima da polimórfica na fase inicial e intermediária e situa-se abaixo no segmento final. Já a curva polimórfica representou com fidelidade o crescimento das árvores, mostrando que embora estas situam-se como limites na idade índice, mantiveram-se dentro da abrangência da faixa.

Já a Figura 06 refere-se a classe de qualidade 4, onde ambos os métodos de elaboração de curvas, descrevem de forma satisfatória o crescimento das árvores ao longo do tempo. Verificou-se que a curva anamórfica manteve a tendência de situar-se acima da curva polimórfica, conforme já mencionado para as outras curvas 1, 2 e 3 respectivamente.

Finalmente a Figura 07 refere-se a classe de qualidade 5, onde ambas curvas descrevem com fidelidade o crescimento em altura das árvores, para as idades acima de 6 anos. Verificou-se que nas idades inferiores a 5 anos a árvore limite superior posicionou-se acima da ambas as curvas, apresentando uma mudança de classe se houvesse ocorrido uma classificação neste intervalo de idade inferior a 5 anos.

A análise gráfica do conjunto de curvas dos dois sistemas indicou com clareza, que o método de construção de curvas polimórficas, representou com fidelidade e precisão a forma de crescimento em altura das árvores dominantes testadas para todas as clas-

ses. Já o método anamórfico apresentou deficiências na representação das árvores testadas nas classes 1, 2 e 3, onde as curvas apresentaram a tendência de superestimar o valor das alturas.

Em todas as classes de qualidade elaboradas por ambos os sistemas observou-se uma instabilidade das árvores. Nas classes de melhor qualidade esta variação ocorreu até por volta do quinto ano de idade, e até por volta do sexto ano, nas classes mais pobres. Nesta faixa de idade algumas das árvores testadas mudaram de classe ao longo do tempo. Esta característica de variação e instabilidade de classes nestas idades jovens, provavelmente é resultante da fase de adaptação incompleta da planta ao local.

Esta tendência de prolongar o período de instabilidade a medida que a classe de qualidade torna-se mais pobre, provavelmente está associada ao potencial de crescimento do local. Nos locais de maior potencial de produtividade, ocorre mais cedo a adaptação completa e definição do ritmo de crescimento das árvores, ao passo que em locais de menor produtividade os fatores do ambiente provavelmente retardem ou não permitem que as árvores apresentem um ritmo de crescimento definido. Estes resultados vem ao encontro aos relatados de LENHART et alli <sup>24</sup>, que trabalharam com **Pinus taeda** e observaram que para idades menores de 5 anos o desenvolvimento da altura das árvores é muito sensível. Também SCOLFORO & MACHADO <sup>24</sup> destacaram que a classificação de sítio é muito mais estável quando realizada a partir de 5 a 6 anos de idade do povoamento.

Estes resultados demonstram que faz-se necessário cautela quando se pretende realizar classificação ou determinação de índi-

ce de sítio de povoamentos de **Pinus taeda** jovens, especialmente aqueles com idades inferiores a 6 anos.

#### 4.5 - ESTIMATIVA DO TAMANHO DA AMOSTRA PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS POLIMÓRFICAS

A quantidade de árvores utilizadas na construção de curvas de índice de sítio polimórficas para a classificação da produtividade de solos florestais, influi diretamente sobre a precisão e confiabilidade deste sistema. Assim seria mais prático e seguro saber quantas árvores seriam necessárias medir ou coletar para elaborar cada classe de qualidade com uma precisão pré-definida.

Evitar-se-ia desta maneira, uma coleta insuficiente e de abrangência parcial, ou uma coleta exagerada e mal distribuída ao longo da amplitude de ocorrência dos dados, evitando-se também a elaboração de sistemas não representativos e distorcidos.

Neste estudo foi estimado o número de árvores necessárias por classe de sítio e idade, para construir um sistema de curvas polimórficas, com um erro de amostragem máximo da ordem de 10% e 5% respectivamente. O procedimento desta estimativa está descrito nos itens 3.9 e 3.10 apresentados anteriormente.

##### 4.5.1 - Tamanho da amostra para 10 % de erro

Na Tabela 10 é apresentado o número de árvores necessárias por classe e idade para construir o conjunto de curvas polimórficas para classes de sítio com intervalo de 3,5 metros.

TABELA 10: Número de árvores necessárias por classe de sítio e idade para um erro de 10% e 95% de probabilidade.

IDADE	C L A S S E S D E Q U A L I D A D E				
	1	2	3	4	5
1	100	100	66	100	100
2	31	19	56	63	51
3	14	18	22	29	39
4	7	6	10	13	18
5	4	6	10	11	10
6	4	6	8	6	10
7	3	6	7	6	5
8	3	4	7	5	4
9	2	4	7	5	4
10	2	4	6	4	4
11	2	4	4	3	4
12	2	3	3	3	4
13	2	3	3	3	4
14	2	3	3	3	4
15	1	3	3	3	4
16	1	2	3	3	4

A representação gráfica do tamanho da amostra para 10% de erro é apresentada na Figura 08.

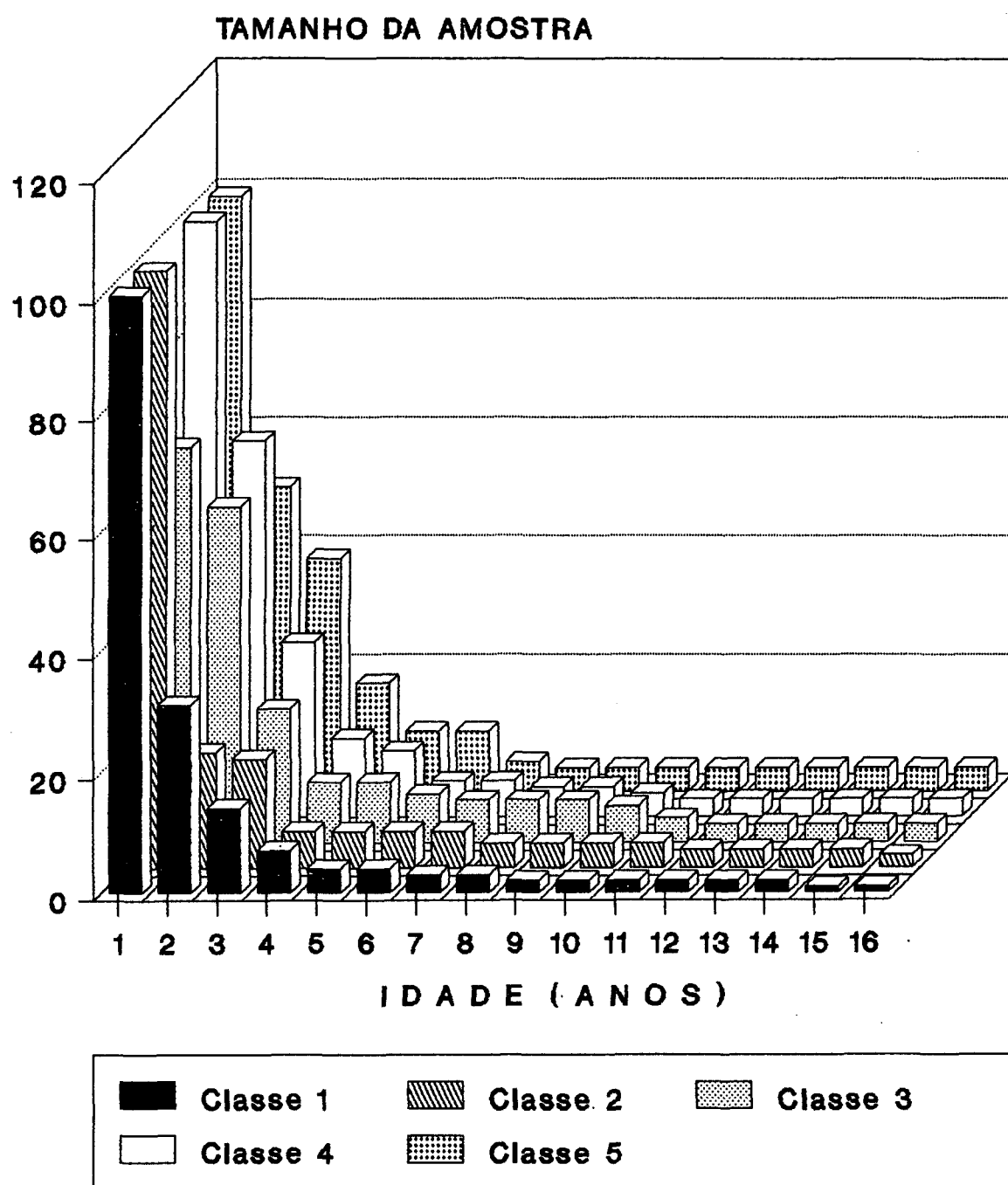


FIGURA 08: Tamanho da amostra para 10% de erro.

Os resultados da Tabela 10 juntamente com a Figura 08 mostraram que são necessárias poucas árvores, em torno de 10, para elaborar classes de qualidade polimórficas com 10% de erro e 95% de probabilidade, para idades acima de 7 anos. Verificou-se também que o tamanho da amostra decresce com o aumento da idade e tende a estabilizar-se a partir dos 7 anos de idade para todas as curvas.

Também foi observado que a estabilização do tamanho da amostra ocorre mais cedo nas classes de melhor qualidade, em torno do quinto ano (classes 1 e 2), para as classes 3 e 4 ocorre em torno do sétimo e para a classe 5 em torno do oitavo ano. Isto provavelmente é resultante de que em locais de solo com melhores condições de produtividade as árvores apresentam uma taxa de crescimento mais acelerada e portanto com uma definição e estabilização do ritmo de crescimento já por volta dos 5 anos de idade. O mesmo não acontece nos solos com menor potencial produtivo, onde a definição e estabilização do ritmo de crescimento necessita mais tempo ou seja em torno de 8 anos.

A observação de que o tamanho da amostra apresentou estabilização a partir de 5 a 6 anos de idade, está diretamente relacionada com o comportamento das árvores limite testadas para as classes polimórficas (item 4.4), onde estas apresentaram uma mudança de classe nesta faixa de idade.

O tamanho da amostra para as idades jovens (abaixo de 5 anos), expresso na Tabela 10, revelou grande heterogeneidade no crescimento em altura deste período, sendo necessário uma amostra de 10 a 60 árvores para ser mantida a precisão pré-estabelecida.

#### 4.5.2 - Tamanho da amostra para 5 % de erro

Na Tabela 11 são apresentados os resultados da quantidade do número de árvores necessárias por classe e idade para construir o conjunto de curvas polimórficas para classes com intervalo de 3, 5 metros na idade índice de 15 anos.

TABELA 11: Número de árvores necessárias por classe de sítio e idade para um erro de 5% e 95% de probabilidade.

IDADE	C L A S S E S D E Q U A L I D A D E				
	1	2	3	4	5
1	100	100	100	100	100
2	100	74	100	100	100
3	56	42	85	100	100
4	29	13	33	62	69
5	16	12	18	25	40
6	14	12	18	24	40
7	11	11	18	23	19
8	11	7	14	15	9
9	7	7	13	15	13
10	7	7	9	9	11
11	8	7	8	5	9
12	7	5	6	5	7
13	6	4	6	7	8
14	5	4	8	7	8
15	4	3	8	7	7
16	4	3	7	6	7

A representação gráfica do tamanho da amostra para 5 % de erro é apresentada na Figura 09.



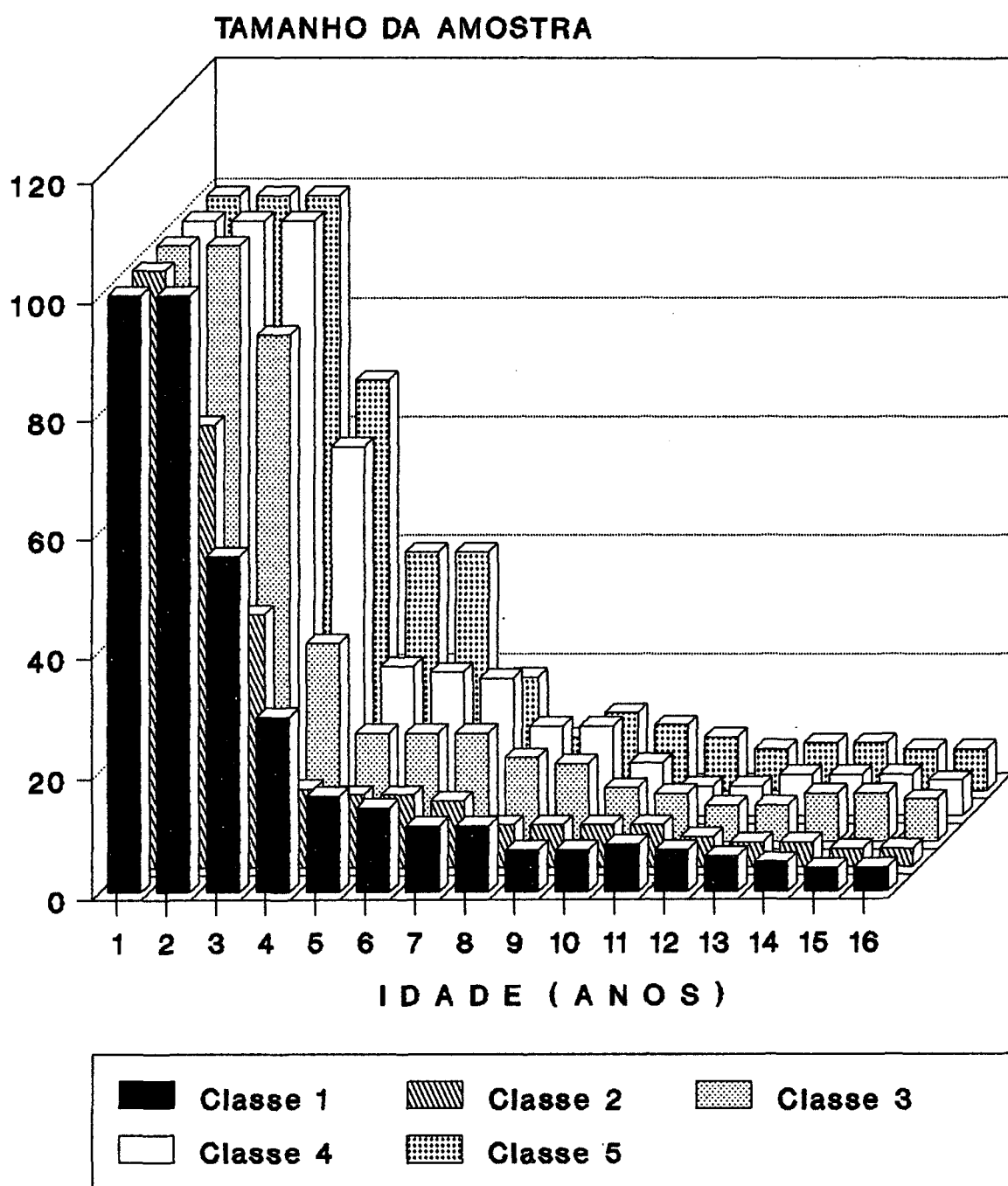


FIGURA 09: Tamanho da amostra para 5% de erro.

Os resultados da Tabela 11 juntamente com a Figura 09 mostraram que são necessárias cerca de 20 árvores para construir curvas de índice de sítio polimórficas, com um erro máximo pré-estabelecido de 5% com 95% de probabilidade. Este tamanho de amostra está condicionado para idades superiores a 8 anos.

Verificou-se que o tamanho da amostra decresce com o aumento da idade e tende a estabilizar-se a partir dos 7 anos de idade para todas as classes. Esta mesma tendência foi encontrada na análise da Tabela 10, referente ao tamanho da amostra para um erro máximo de 10% pré-estabelecido.

Observou-se que as classes de melhor qualidade, ou seja as classes 1 e 2, a estabilização do tamanho da amostra acontece mais cedo por volta dos 5 anos de idade, já para as classes de qualidade inferior a estabilização ocorre por volta dos 8 anos de idade.

A análise deste quadro relevou também que nas idades jovens até cerca de 5 anos para as classes 1 e 2, cerca de 7 anos para as classes 3, 4 e 5, será necessário um grande número de árvores (20 a 100), para construir curvas de sítio para um erro máximo de 5% pré-estabelecido.

#### 4.5.3 Considerações sobre o tamanho da amostra para construção de curvas de índice de sítio

A análise das Tabelas 10 e 11 juntamente com representações gráficas, Figuras 08 e 09, revelaram que o tamanho da amostra decresce e tende a estabilizar-se com o aumento da idade.

No presente estudo determinou-se que são necessárias amostras de 10 e 20 árvores por classe, para se construir curvas de índice de sítio polimórficas com um erro máximo de 10% e 5% respectivamente, ambos com 95% de probabilidade. Tamanhos estes condicionados para idades superiores a 7 anos.

Verificou-se que nas idades jovens, abaixo de 7 anos ocorreu uma grande instabilidade do tamanho da amostra apesar de a mesma possuir uma tendência decrescente. Esta instabilidade também foi detectada quando representou-se graficamente árvores para cada classe de sítio (item 4.4), mostrando que nas idades desta faixa o crescimento em altura é bastante instável.

Os resultados dos tamanhos de amostras para diferentes limites de erros, evidenciaram uma tendência de que nas idades inferiores a 7 anos, deve-se ter cuidado com classificação de sítio e a grande variação de crescimento em altura, pode não ser resultado do local, mas relacionado a fase de adaptação completa da árvore ao local.

## 5 - CONCLUSÕES

O método anamórfico de construção de curvas de sítio não representou com fidelidade o crescimento em altura das árvores. Este método gerou curvas de sítio que apresentaram a tendência de superestimar o crescimento em altura, nas idades inferiores a idade índice, e subestimar o crescimento para as idades superiores a idade índice, ou seja, acima de 15 anos.

Já o sistema de elaboração de curvas polimórficas para classificação de sítio, descreveu com fidelidade e precisão a tendência de crescimento em altura, demonstrando estabilidade e confiabilidade no traçado das mesmas. Portanto pode-se concluir que o sistema de construção de curvas de sítio polimórficas forneceu melhores resultados do que o sistema anamórfico.

Foi constatado que não ocorreu diferença estatística significativa aos níveis de 95 % e 99% de probabilidade, entre o crescimento em altura dos 3 locais amostrados.

O modelo matemático juntamente com a metodologia empregadas para a construção de curvas de índice de sítio polimórficas, apresentaram resultados bastante satisfatórios e precisos, atingindo com sucesso os objetivos do estudo.

Em todas as classes de qualidade polimórficas observou-se uma instabilidade das árvores testadas em idades juvenis; nas classes de melhor qualidade esta variação ocorreu até por volta do quinto ano e até por volta do sexto ano, nas classes mais pobres, ocorrendo inclusive mudança de classe de algumas árvores.

Foi determinado serem necessárias amostras de 10 e 20 árvores por classe, para se construir curvas de índice de sítio polimórficas, com erro máximo de 10% e 5% respectivamente, com 95% de probabilidade. Tamanhos estes condicionados para idades superiores aos 7 anos.

Os resultados das árvores testadas para verificação da estabilidade das curvas e a determinação da amostra indicam com clareza, que faz-se necessário bastante cautela quando se pretende realizar classificação ou determinação de índice de sítio de povoamentos de **Pinus taeda** no Segundo Planalto Paranaense, com idades inferiores a 7 anos.

Estas curvas de sítio polomórficas podem ser empregadas para a classificação de povoamentos de **Pinus taeda** no 2º Planalto Paranaense, observando-se as restrições de idade.

POLYMORPHISM AND SAMPLE SIZE FOR SITE INDEX ESTIMATION FOR *Pinus taeda* L., IN THE CENTRAL PLATEAU OF THE STATE OF PARANA-BRAZIL

Author: Moacir Marcolin

SUMMARY

This paper aims to compare and evaluate site index curves generated through anamorphic and polymorphic methods. At the same time it was estimated the required sample size for *Pinus taeda* L. stands located at Central Plateau of the state of Parana, Brazil. The data used in this study were values of total height and age got after stem analysis of 63 dominant trees. There were trees in all site index classes and tree ages varied from 15 to 17 years old. Prodan's model was the one used in this study and has the following formula:

$$H = (I^{*2}) / (b_0 + b_1 * I + b_2 * I^{*2}),$$

where: I = age,  
H = total height, and  
b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, and b<sub>2</sub> = least square coefficients

Stability and confidence of these curves obtained through the two methods were evaluated comparing estimated and observed values from the data.

After choosing the best method it was determined the sample size for each site index class. The results showed that the polymorphism is the best way to describe relationships between age and total height. It was also determined that it is necessary to sample 10 to 20 trees per site index class to build a polymorphic system of site index equations with an error of 10% to 5% respectively.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ALDER, D. Forest Volume Estimation and Yield Prediction  
Vol 2 yield prediction, Rome, 1980. FAO Forestry Paper  
22/2 194 p.
- 02 ANUCHIN, N.P. Forest Mensuration. Jerusalem, Israel program  
for scientific translation, 1970. 494 p.
- 03 AVERY, T.E. e BURKHART, H.E. Forest Measurements. New York,  
McGraw Hill, 1983. 331 p.
- 04 BAILEY, R.L. & CLUTER, J.L. Base-Age Invariant Polimorphic  
Site Curves. Ecol. Sci. 20 (2), p. 155-159. 1974.
- 05 BARRUSO, A.P. A determinação de funções de crescimento  
mediante análise de tronco. UFPR. Dissertação de mestrado.  
Curitiba. 1977. - Dissertação não defendida -.
- 06 BURKHART, H.E. & TENNENT, R.B. Site index equations for  
radiata pine in New Zealand. New Zealand J. Ecol. Sci. 2  
(3), p. 408-416. 1977.
- 07 CAMPOS, J.C. & TURNBULL, K.J. Um método de estimar índice de  
local utilizando a análise de tronco. R. Árvore 4 (1),  
p. 47-61. 1980.
- 08 CARMEAN, W.H. Site index curves for upland oaks in the  
central states. Ecol. Sci. 18 (2) p. 109-120, 1972.

- 09 CARMEAN, W.H. Forest site quality evaluation in the United States. USDA For. Ser. Nor. Cen. For. Exp. Sta. Reprint from Advances in Agronomy 27 p. 209-269, 1975.
- 10 CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 1983. 333 p.
- 11 COILE, T.S. Soil and growth of forests. Advances in Agronomy. 4 p.329-359, 1952.
- 12 DE HOOG, R.J. Site-nutrition-growth relationships of **Araucaria angustifolia** (BERTR.) Q. KIZE in southern Brazil. Freiburg I.Br. Germany. PH.D. Thesis, 1981. 161 p.
- 13 FUND. DA UFPR. - FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL PARANÁ. Projeto: "Classificação de sítio para **Araucaria angustifolia**, **Pinus elliottii** e **Pinus taeda** no 2º Planalto do Estado do Paraná". Publicação inédita. 1984. 51 p.
- 14 GRANEY, D.L. & BURKHART, H.E. Polimorphic site index curves for shortleaf pine in the Ouchinata Mountains. USDA For. Ser. Res. Pap. SO-85 p. 01-12, 1973.
- 15 HAGGLUND, B. Estimating the accuracy of site index curves by means of simulation. Studia Forestalia Suecica 122 p. 01-34. 1975.
- 16 HARMS, W.R. & LANGDON, O.G. Development of loblolly pine in dense stands. For Sci. 22 (3) p. 331-337, 1976
- 17 HEGER, L. Confidence interval for site index using curves based on stem analysis. Can. J. For. Res. 1 p. 241-245, 1971.



- 18 HEGER, L. Effect of index age on the precision of site index.  
Can. J. For. Res. 3 p. 01-06, 1973.
- 19 JONES, J.R. Review and comparison of site evaluation methods.  
USDA For. Ser. Res. Pap. R.M. 5 p. 01-17, 1969.
- 20 JONES JR, E.P. Precommercial thinning of naturally seeded  
slash pine increases volume and monetary returns.  
USDA For. Ser. Res. Pap. SE 164, p.01-12, 1977.
- 21 LENHART, J.D.; HUNT JR., E.V.; BLACKARD, J.A. Site index  
equations for loblolly and slash pine plantation on  
non-old-fields in East Texas. South. J. Appl. For. 10  
p. 109-112. 1986.
- 22 LLOYD, F.T. & HAFLEY, W.L. Precision and the probability of  
misclassification in site index estimation. For. Sci. 23  
(4) p. 493-499, 1977.
- 23 LUNDGREN, A.L. & DULID, W.A. Biological growth functions  
describe published site index curves for Lake States  
timber species. North Cent. Forest Exp. Sta. Res. Pap.  
NC 36. p. 9. 1970.
- 24 KING, J.E. Site index curves for Douglas fir in the Pacific  
Northwest. Weyerhaeuser Forestry Paper 8. 1966. 49p.
- 25 MACHADO, S.A. Studies in growth and yield estimation for  
**Pinus taeda** plantations in the state of Paraná-Brazil.  
University of Washington. Ph.D. Dissertation. 1978. 170 p.
- 26 ----- Curvas de índice de sitio para plantações de **Pinus**  
**taeda** na região central do Estado do Paraná.  
R. Floresta. 11 (2) p.04-18. 1980.

- 27 MCQUILKIN, R.A. & ROGERS, R. A method for determining the precision of site index estimates made from site index prediction functions. *Ecol. Sci.* 24 (2), p. 289-296, 1978.
- 28 MONSERUD, R.A. Height growth and site index curves for inland douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. *Ecol. Sci.* 30 (4) p. 943-965. 1984.
- 29 ----- Comparison of Douglas-fir site index and height growth curves in the Pacific Northwest. *Can. Jour. of Ecol. Res.* 15 (4) p. 673-679. 1985.
- 30 PRODAN, M. *Forest Biometrics*. New York, Pergamon Press, 1968. 447 p.
- 31 SAS Institute Inc. *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.03 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1988. p. 1028
- 32 SCHNEIDER, P.R. & SILVA, J.A. índice de sítio para Acácia negra, *Acacia mearnsii* de Wild. *Brasil Florestal* 10 (42), p. 53-58. 1980.
- 33 SCOLFORO, J.R.S. & MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* no Estado do Paraná e Santa Catarina. *Revista Floresta*. Vol XVIII nº 1-2. 1988 159-173 p.
- 34 ----- Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* no Estado do Paraná e Santa Catarina. *Revista Floresta*. Vol XVIII nº 1-2. 1988 141-158 p.
- 35 SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. *Statistical Methods*. 6ª ed. Iowa, The Iowa State University Press Ames, 1967. 593 p.

- 36 SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS. Terminology of forest science, technology, practice and products. Society of American Foresters, Washington, 1971. 349 p.
- 37 STAGE, A.R. A mathematical approach to polymorphic site index curves for grand fir. *Ecol. Sci.* 2 (2), p. 167-180. 1963.
- 38 STRAND, L. Numerical constructions of site index curves. *Ecol. Sci.* 10 (4) p.410-414. 1964.